

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАУКИ**



**78-я НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ
БЕЛОРУССКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Материалы конференции

В трех частях

Часть 1

Минск, 10–21 мая 2021 г.

Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2021

**ISBN 978-985-881-246-1 (ч. 1)
ISBN 978-985-881-245-4**

© БГУ, 2021

УДК 082(06)
ББК 9я431

Редакционная коллегия:

В. Г. Сафонов (*гл. ред.*), О. Н. Янковский (*зам. гл. ред.*),
А. Г. Захаров (*зам. гл. ред.*), А. А. Кухаренко (*отв. секретарь*),
М. Н. Василевич, А. В. Вериго, О. В. Вологина, Д. С. Воробьёв,
М. Г. Герменчук, О. И. Губич, Т. А. Железнякова, И. М. Кимленко,
Т. М. Киселева, Е. И. Климушко, А. А. Кондраль, В. В. Коршук,
Е. В. Левшикова, В. И. Малюгин, В. В. Манкевич, А. В. Наумова,
Г. В. Пальчик, С. И. Шатравский, В. И. Шиманский

78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс] : материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 10–21 мая 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-246-1.

В первую часть издания включены доклады студентов и аспирантов факультета географии и геоинформатики, факультета прикладной математики и информатики, факультета радиофизики и компьютерных технологий, механико-математического, физического, биологического и химического факультетов.

Минимальные системные требования:

PC, Pentium 4 или выше; RAM 1 Гб; Windows XP/7/10;
Adobe Acrobat.

Оригинал макет подготовлен в программе Microsoft Word.

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *С. Г. Берлинская*

Подписано к использованию 31.12.2021. Объем 14,5 МБ.

Белорусский государственный университет.
Управление редакционно-издательской работы
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.
Телефон: (017) 259-70-70.
e-mail: urir@bsu.by
<http://elib.bsu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

Захаров А. Г., Калюко Е. К., Кухаренко А. А. Информация об итогах 78-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ..... 10

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Ань Хоанг Тхи Киеу. Компактные разностные схемы для одномерного уравнения Клейна-Гордона с переменными коэффициентами.....	13
Бороховский А. В. Применение индикаторов по опросным данным в эконометрических моделях для отраслевых экономических индикаторов.....	18
Ворган А.С. Разработка мобильного приложения «кулинарный помощник»	22
Гончар А.В. Поиск потенциальных ингибиторов BCR-ABL тирозинкиназы методами виртуального скрининга и молекулярного моделирования.....	26
Емельянова О. Ю. Интеграция NODE-RED с Yandex Iot Core для применения в сфере интернета вещей.....	30
Качков Д. И. Обработка малых языков путём моделирования усвоения языка	35
Костюкевич Д. А. Стратегия с замыканием в задаче оптимального гарантированного управления и ее применение в MPC.....	40
Михайлов А. А. Разработка и развёртывание серверной части многопользовательской игры на микросервисной архитектуре	44
Модзольский В.В., Тамкович Ю.В., Арабчик К.Г. Разработка интерактивной карты становления БГУ	48
Мойса А. В. Демпфирование многошаговых методов типа Адамса с расширенным интервалом устойчивости	52
Мордань Е. И. Применение технологий машинного обучения для генерации новых потенциальных ингибиторов проникновения ВИЧ-1	56
Наумович А. И. Распознавание патологий грудной клетки на основе нейронных сетей	60
Ненартович Е.Г. Приложение по обработке изображений под ANDROID.....	64
Павлив Е.А. Разработка бот-приложения с системой рекомендаций на основе машинного обучения	68
Понявин Д.Е. Модульная концепция обобщенного нейросетевого семантического анализатора	72
Тев Н. М. Построение молекулярно-динамической модели пространственной структуры теломеразы человека.....	77
Тамашэвіч К. І. Распрацоўка рэляцыйнай базы дадзеных, аптымізаванай пад патрэбы праграмавання гульняў.....	81

Трубач Г. Г. Индивидуальные образовательные треки как часть цифрового университета.....	85
Федченков И. В. Оптимизация торговых стратегий на рынке криптовалют.....	89
Чечёткин М. Р. Разработка новостного портала с использованием фреймворка SPRING.....	94
Шакель А.В. Анализ тональности текстов с помощью нейронных сетей, использующих механизмы внимания.	98
Шанцов А.В. Особенности построения комплексной системы защиты информации облачных ресурсов.....	103
Шишлянников И. В. Анализ и применение алгоритмов генерации и моделирования ландшафта.....	107

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Борисевич А.А. Экспериментальное определение области формирования сигнала комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции в конфокальном спектрометре «NANOFINDER HE».....	112
Ефимов К. А. Вейвлет-нейронные сети для обработки и анализа мультиспектральных данных.....	116
Зглюй А.А. Структурные свойства Ag-содержащих тонких пленок Cu_2ZnSnS_4 , полученных методом спрей-пиролиза.....	120
Комяк К.Г. Дифракция световых пучков на жидкокристаллических решетках.....	124
Лаврененко В. Д. Радиационные эффекты в процессе рассеяния гамма-квантов на заряженных лептонах.....	128
Левенков В. А. Оценка надежности системы охлаждения топливного бассейна АЭС с помощью программного средства RISKSPPECTRUM.....	132
Махнач Н. В., Трофименков И. В. Разработка универсального программного интерфейса для анализа масс-спектрометрической информации.....	136
Писцова К. В. Оптические силы, действующие на сферические микрочастицы в поле лазерных пучков.....	140
Стажинский А.В. Разработка математической модели движения и программного обеспечения для автоматического загрузчика полупроводниковых пластин.....	145
Степанюк Н. А. Влияние облучения ионами гелия на фазовый состав и микроструктуру поверхности высокоэнтропийного сплава COCRFEMNNI.....	149

ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Андросюк Р.И., Ленюски А.А., Можейко В.П. Исследование технологии NOCODE и ее интеграции с технологиями визуального анализа текста	153
Беглик В.В., Кривошеев П.Д., Охрименко И.П. Расчет интенсивности сигналов в космической спутниковой системе S-LIGO.....	157
Бондаренко Ю.А. Использование методов регрессионного анализа для расчета биопродуктивности сельскохозяйственных культур на территории Республики Беларусь.....	161
Войтович Е. А. Алгоритм определения мнимых заголовков текстов публикаций.....	165
Володащук Ю.А. Калибровка бортовых магнитометров наноспутника.	169
Герасимович А.А. Пути решения проблем безопасности android-приложений	173
Горбунова А. А. Разработка и программная реализация алгоритмов снижения размерности данных биофизических экспериментов.....	178
Гребенник В. Н. Имитационная модель кластеров многомерных данных с учетом информативности признаков объектов	182
Гуринович А. А. Образовательное приложение для работы со стереометрическими объектами в дополненной реальности	186
Жевняк Я. О. Энергетические потери радиолинии «космический аппарат – наземный приемник»	190
Исмаилова А. С., Парфимович И. Д. Влияние концентрации поверхностно-активных веществ и типа углеродных нанотрубок на процессы формирования водных дисперсий на их основе	194
Климович И. П. Оценка вычислительной эффективности программной реализации модели магнитного поля Земли на микроконтроллере	198
Мальцева Т. В. Разработка и изготовление беспроводной измерительной системы для квадрокоптера DJI PHANTOM.....	202
Марков Д. А. Расчет вегетационных индексов в программе ERDAS IMAGINE.....	206
Мигель А. С. Способы повышения добротности объемных резонаторов	210
Николаев А. О. Электронный макет электромеханической системы ориентации наноспутника	214
Никуненко С. А. Применение данных дистанционного зондирования с беспилотных летательных аппаратов для задач сельского хозяйства	218
Синица В. И. Проблемы безопасности серверной части Android приложений и пути их решения.....	222
Шамкина В. Ю. Разработка программных средств для нормализации данных секвенирования одиночных клеток	226

Яцков В. Н., Чепелева М. К. Предсказание выживаемости пациентов с онкологическими заболеваниями методом случайного леса	230
--	-----

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Авимова К. П. Влияние клеточных стереотипий и груминга на поведение мышей в стандартных тестах	234
Аmeliшко П.С., Муковозчик А.В. Оценка антимикробной активности изолятов некоторых макромицетов.....	238
Вайтулевич А. В. Исследование утечки электролитов из клеток корня высших растений при алюминиевом стрессе	242
Земко Д.В. Применение люцигенина для обнаружения активных форм кислорода в биологических системах	246
Кислякова А.А. Опыт применения видеокамер для исследования крупных млекопитающих и птиц – утилизаторов трупов копытных животных в условиях Березинского заповедника.....	250
Кожурова А.Ю. Физико-химические и биохимические свойства меланиновых пигментов трутовика настоящего (FOMESFOMENTARIUSL).....	254
Кучвальский М.В. Микобактерии туберкулеза образуют некислотоустойчивые формы на упрощенных питательных средах при стимуляции роста	258
Латушков Г. П. Характеристика дрожжевых грибов, выделенных из природных сообществ восточной антарктиды.....	263
Лицкевич К.С., Рекиш А.Л. Генерация активных форм кислорода и индукция клеточной гибели в корне <i>Arabidopsis thaliana</i> под действием повышенных уровней Ni ²⁺ в среде.....	265
Мазурова Д.А. Механизмы запрограммированной клеточной гибели у высших растений	269
Маковская П.С. Выделение, очистка и рефолдинг на матрице Ni-сефарозы рекомбинантного эфрина-A5.....	273
Мельничек А.Г., Карпаева А.Ю. Сравнительный анализ видовой структуры фитопланктона и фитоперифитона, а также уровня трофности карьерных водоёмов гродненского мелового месторождения.....	276
Ныч А.В. Анализ автофагических реакций, индуцируемых ионами никеля, при помощи ATG8a-mCHERRY	280
Осипик К.А., Бобарикина А.Ю. 3-D-моделирование структур дагф-синтаз I и II типов бактерий <i>pseudomonas chlororaphis subsp. aurantiaca</i>	284
Пластинина О.В. Клонирование и экспрессия главных антигенных доменов гликопротеина E2 вируса диареи крупного рогатого скота в клетках <i>E. COLI</i>	288

Приступа К.В. Изучение активности некоторых ферментативных антиоксидантов трансгенных растений <i>NICOTIANA TABACUM</i> , выращенных в условиях биотического стресса	292
Раковчук Е.П. Влияние экстракта суспензионной культуры сирени на пул жирных кислот кожи, показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы у крыс при экспериментальном хроническом аллергическом контактном дерматите.....	296
Рудковская Ю.А. Предварительные данные о мелких млекопитающих особо охраняемых природных территорий.....	300
Савич А.Е. Введение <i>persea americana</i> в культуру клеток и её антиоксидантные свойства	304
Семёнова М.А. Биохимические показатели в сыворотке крови крыс при пищевой депривации	308
Торгашёва В.С. Влияние систем пассивного транспорта калия на рост растений арабидопсиса в культуре <i>in vitro</i>	311
Федоринчик К. А. Анализ структуры населения птиц городских парков в сравнении с естественными местообитаниями	315
Хвир Д.И. Новые данные по экологии и биологии шмелей (<i>Bombus</i> Latr.) и шмелей-кукушек (<i>Psithyrus</i> Lep.) на территории Минской области	319
Цыркунович М.С. Роль ионных каналов CNGC в устойчивости растений арабидопсиса к дефициту незаменимых металлов	323
Чао Ю. Определение характера синтеза шикимовой кислоты штаммами <i>Bacillus subtilis</i> с инактивированным геном шикимат-киназы	327
Яцкевич Е.В., Дарашевич К.А. Исследование антиоксидантной активности в печени и мозге крыс при действии полифенолов горца птичьего (<i>poligonium aviculare</i> L.) в опытах <i>in vitro</i>	332

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Алейникова А.А., Юркштович Я.Н. Термодинамические свойства 2-метил-5-этинил-2 <i>H</i> -тетразола и 2-(<i>трет</i> -бутил)-5-этинил-2 <i>H</i> -тетразола.....	336
Богданова А. В., Семенкова Г. Н., Полешко А. Г., Квачева З. Б., Шадыро О. И. Модификация функций дермальных фибробластов 2-гексадеценалем	340
Вербило К. М. Синтез и исследование механизма антибактериальной активности 1,4-дизамещенных 1 <i>H</i> -1,2,3-триазолов методами молекулярного моделирования	344
Вергун О.Д., Лавор В.Д., Новицкий И.А., Семенкова Г.Н., Амаэбери Н.В., Шадыро О.И. Регуляция функциональной активности клеток крови пальмитоксиацетоном	348

Климович Ю.О., Петровская А.А. Синтез ионообменного материала на основе хвойной целлюлозы для получения композиций коллоидного диоксида кремния	360
Коротина В.Г, Асташко Д.А. Окислительное раскрытие производных циклобутанола	364
Леонтьев А.П. Разработка состава формовочной композиции на основе альгината натрия с добавлением экстракта корня одуванчика лекарственного (<i>taraxacum officinale</i>).....	368
Мезга Л. С., Кульбацкий В. С., Походня Ю. Г. Разработка методики количественного определения микроэлементов в волосах человека методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.....	372
Орлович А. Ю., Юркштович Я. Н. Термодинамические свойства этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата.....	377
Сахаревич Д. Ю., Тимоненкова А. С. Исследование возможности синтеза композитов в системах Al-fumarate/Fe ₃ O ₄	382
Урбанович О. В., Пантелеева Е.А., Давыденко А.И. Радиационно-индуцированная дегидратация пропандиола-1,2 и бутандиолов-1,2 и -2,3 в деаэрированных водных растворах	387
Черкасова А.В., Соломевич С.О. Получение капсул и гранул на основе фосфатов декстрана и хитозана для доставки противоопухолевого вещества проспирина	392
Шулганова А. В., Амазгбери Н. В., Семенкова Г. Н., Брель И. Н., Владимирская Т. Э., Адзериho И. Э. Пероксидазная активность плазмы крови пациентов с легочной гипертензией.....	397

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

Алиева М. А., Петроченко В. В. Геоинформационный анализ структуры городского пространства (на примере микрорайонов г. Минска).....	401
Вишняк А. К. Развитие фармацевтической промышленности Республики Беларусь	405
Грицук Н. П. Правовые основы использования водных ресурсов в Республике Беларусь.....	409
Давидович Ю. С. Изменение спектральной отражательной способности озимого рапса и ячменя в зависимости от степени увлажнения почв.....	413
Карпенко Е. А. Перспектива создания и использования учебных геопорталов учреждениями высшего образования.....	417
Кизеева В. С. Определение зон потенциального плодородия почв сельскохозяйственных земель с использованием методов площадной интерполяции	421
Мазанович А. Ю. Оценка геоэкологического состояния водных ресурсов Брестской области	425

Кизеева В. С. Определение зон потенциального плодородия почв сельскохозяйственных земель с использованием методов площадной интерполяции	421
Мазанович А. Ю. Оценка геоэкологического состояния водных ресурсов Брестской области	425
Макаренко А. В. Современное использование туристского потенциала Гомельской области и особенности территориальной организации туристского обслуживания	429
Медведько М. В. Тенденции изменения интенсивности опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси	433
Никифоренко В. В. Структура и характеристика зеленых насаждений урболандшафтов г.Могилева.....	437
Реуцкая В. С. Учебно-методическое обеспечение преподавания географии стран и народов в 8 классах в учреждениях общего среднего образования	441
Силицкая О. В. Оценка качества подземных вод Беларуси по гидрохимическим показателям	444
Шестаков Н. А. Использование аэрокосмических методов для изучения лесной растительности	448
Яшенкова М. В. Учебно-методическое обеспечение преподавания географии Беларуси в 9 классах в учреждениях общего среднего образования	452

МЕАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Александрова А. А. Численное моделирование сферического магнитожидкостного экрана.....	455
Бадак Б. А. Использование технологии сторителлинга в методике преподавания математики и информатики.....	459
Ивашко М. В. Создание веб-приложения «Интернет магазин по продаже телефонов».....	463
Ильина Д. А. Конечно-элементное решение трехмерной задачи магнитостатики на сетке, не согласованной с геометрией области.....	466
Лях У. В. Дидактические аспекты разработки онлайн курса по математическому анализу.....	470
Тухолко А. Г., Моргунов В. А. Android-приложение «Магазинный ассистент».....	474

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИТОГАХ 78-Й НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ БГУ

А. Г. ЗАХАРОВ, Е. К. КАЛЮКО, А. А. КУХАРЕНКО

С 10 по 21 мая 2021 года в Белорусском государственном университете была проведена 78-я научная конференция студентов и аспирантов. Заслушивание докладов было организовано в офлайн и онлайн форматах на 310 секциях 18 подразделений университета. На конференции выступили с докладами 3637 участников из БГУ, других УВО Республики Беларусь и стран ближнего зарубежья. В рамках конференции было прочитано 4026 докладов. По 2 доклада подготовили 303 участника, по 3 доклада – 26 участников, по 4 доклада – 3 участника, 5 докладов подготовил 1 участник. В работе конференции также приняли участие учащиеся гимназий и лицеев г. Минска.

Количество аспирантов, соискателей, магистрантов, студентов первых – шестых курсов и учащихся, принявших участие в конференции, представлено на рис. 1.

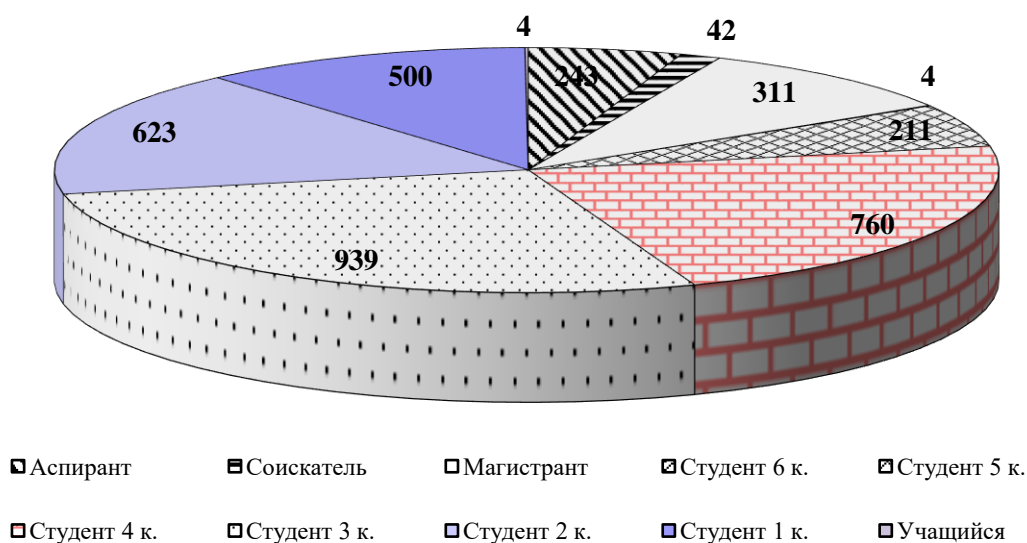
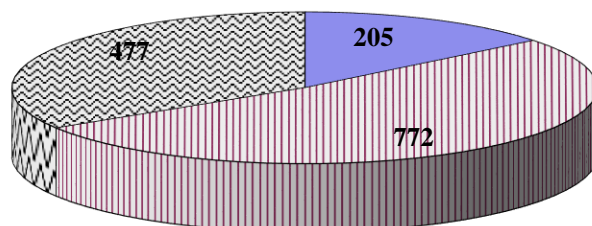


Рис. 1. Участники конференции

Качество докладов участников конференции в значительной степени определяется профессионализмом их научных руководителей. Количество докторов и кандидатов наук – научных руководителей участников конференции – представлено на рис. 2.



■ Д-р наук □ Канд. наук ▨ Без уч. ст.

Рис. 2. Количество докторов, кандидатов наук, научных работников и преподавателей без ученой степени, являющихся научными руководителями участников конференции

Доклады подготовлены под руководством 1454 сотрудников БГУ. Статистические данные по научным руководителям участникам конференции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Участие научных руководителей в подготовке докладов, представленных на конференции

Количество научных руководителей докладчиков	632	307	166	115	64	40	45	16	20	16	5
Количество докладов, подготовленных под руководством одного сотрудника БГУ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Продолжение таблицы 1

Количество научных руководителей докладчиков	7	9	2	3	2	1	1	1	1	1
Количество докладов, подготовленных под руководством одного сотрудника БГУ	12	13	14	15	16	17	18	19	22	28

Эффективность участия в конференции студентов и аспирантов разных подразделений БГУ отражена в таблице 2. Наибольшее количество участников (634 человека) являются студентами и аспирантами факультета международных отношений, они прочитали 793 доклада на 76 секциях.

Таблица 2

Количество участников и докладов, представленных на конференции

Название подразделения БГУ	Кол-во докладов	Кол-во участников	Кол-во заседаний
Факультет международных отношений	793	634	76
Филологический факультет	404	383	35
Юридический факультет	390	357	21
ГУО «Институт бизнеса Белорусского государственного университета»	256	224	6
Факультет социокультурных коммуникаций	333	302	26
Факультет философии и социальных наук	247	232	28
Исторический факультет	233	216	17
Факультет журналистики	231	210	16
Экономический факультет	263	241	14
Факультет прикладной математики и информатики	191	186	16
Факультет географии и геоинформатики	157	156	12
Факультет радиофизики и компьютерных технологий	143	142	8
Химический факультет	149	149	13
Физический факультет	78	78	10
Механико-математический факультет	77	77	8
Биологический факультет	53	53	3
Кафедра педагогики и проблем развития образования	19	19	1
ГУО «Институт теологии имени святых Мефодия и Кирилла» БГУ	9	9	1

Таким образом, 78-я научная конференция студентов и аспирантов БГУ является эффективной формой стимулирования научно-исследовательской работы студентов и аспирантов. В ходе конференции были определены авторы лучших докладов для последующего поощрения, а также отобраны работы для участия в конкурсе на лучшие научные работы студентов БГУ и XXVIII Республиканском конкурсе научных работ студентов учреждений высшего образования Республики Беларусь.

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

КОМПАКТНЫЕ РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ КЛЕЙНА-ГОРДОНА С ПЕРЕМЕННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Ань Хоанг Тхи Киеу

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
kieuanhhoang86@gmail.com;*

*науч. рук. - П. П. Матус, член-корреспондент НАН Беларуси,
д-р физ.-мат. наук, проф.*

В этой работе для одномерного уравнения Клейна-Гордона с переменными коэффициентами исследуются компактные разностные схемы 4-го порядка аппроксимации по пространству и 2-го по времени. При изучении устойчивости этих схем по начальным данным и правой части в сеточных нормах используется метод энергетических неравенств. В результате получены априорные оценки устойчивости и сходимости разностного решения в сеточных нормах. Кроме этого, предложены новые компактные схемы для одного типа квазилинейных гиперболических уравнений второго порядка.

Ключевые слова: компактная разностная схема; одномерное уравнение; уравнение Клейна-Гордона; априорные оценки; устойчивость; сходимость.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности вычислительного метода для решения задач математической физики на минимальных шаблонах всегда было актуальной проблемой. Среди различных разностных схем повышенного порядка аппроксимации особое место занимают так называемые компактные схемы, которые пишутся на шаблоне, несущественно отличающемся от традиционных для данного уравнения [1 - 3]. Компактные разностные схемы строятся и изучаются, например, для классических уравнений математической физики с самосопряженным эллиптическим оператором в работах А. А. Самарского [4, 5], для волнового уравнения в работах В. И. Паасонена [6, 7]. Что же касается уравнения Клейна - Гордона, то оно играет важную роль в математической физике. Это уравнение, в частности, используется при изучении солитонов и в физике конденсированного вещества. Компактные схемы 4-го порядка точности для уравнения этого типа в нелинейном случае с правой части строятся в работе Yueshen Luo, Xiale Li, и Cui Guo [8].

В этой работе для одномерного уравнения Клейна-Гордона с переменными коэффициентами на обычном трехточечном шаблоне исследуются компактные разностные схемы 4-го порядка аппроксимации по простран-

ству и 2-го по времени. При изучении устойчивости компактной разностной схемы по начальным данным и правой части в сеточных нормах $L_2(\omega_h), W_2^1(\omega_h), C(\bar{\omega}_h)$ используется метод энергетических неравенств. В результате получены априорные оценки устойчивости и сходимости разностного решения в сеточных нормах при предположении $h \leq h_0, h_0 = const, \tau \geq h$. На примере вычислительного эксперимента показывается, как использовать правило Рунге для определения разных порядков скорости сходимости решения разностной схема в случае двух независимых переменных. Кроме этого, предложены новые компактные схемы для одного типа квазилинейных гиперболических уравнений второго порядка (следствие системы уравнений газовой динамики).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В области $\bar{Q}_T = \{(x,t) : 0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T\}$ рассмотрим начально-краевую задачу:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x,t) \frac{\partial u}{\partial x} \right) - mu + f(x,t), \quad m = const > 0, \quad (1)$$

$$u(x,0) = u_0(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}(x,0) = \bar{v}_0(x), \quad (2)$$

$$u(0,t) = \mu_1(t), \quad u(l,t) = \mu_2(t), \quad (3)$$

где $0 < k_1 \leq k(x,t) \leq k_2$, $u(x,t) \in C^{4,6}(\bar{Q}_T)$, $p \in C^{0,1}(\bar{Q}_T)$, $f \in C^{0,2}(\bar{Q}_T)$.

Здесь и далее относительно решения дифференциальной задачи будем предполагать, что оно существует, единственно и обладает всеми непрерывными в \bar{Q}_T производными, необходимыми по ходу изложения.

На стандартной равномерной сетке узлов $\bar{\omega} = \bar{\omega}_h \times \bar{\omega}_\tau = \{(x_i, t_n) \in \bar{Q}_T\}$, $\bar{\omega}_h = \{x_i = ih, 0 \leq i \leq N, h = l/N\}$, $\bar{\omega}_\tau = \{t_n = n\tau, 0 \leq n \leq N_0, \tau = T/N_0\} = \omega_\tau \cup \{t_{N_0} = T\}$ заменим дифференциальную задачу (1) - (3) разностной задачей:

$$\Lambda y_{\bar{n}} = \Lambda y^{(\sigma,\sigma)} - \frac{h^2}{12} \Lambda (py_{\bar{n}}) - m \left[y^{(\sigma,\sigma)} + \frac{h^2}{12} \Lambda (py^{(\sigma,\sigma)}) \right] + \varphi, \quad (x,t) \in \omega_h \times \omega_\tau, \quad (4)$$

$$y(x,0) = u_0(x), \quad x \in \bar{\omega}_h, \quad y_t(x,0) = u_1(x), \quad x \in \omega_h, \quad (5)$$

$$y(0,t) = \mu_1(t), \quad y(l,t) = \mu_2(t), \quad t \in \omega_\tau. \quad (6)$$

Здесь

$$\Lambda y = (a(x, t_n) y_{\bar{x}})_x, \quad \sigma = 0.5, \quad \varphi = f + \frac{h^2}{12} \Lambda (pf), \quad p(x,t) = \frac{1}{k(x,t)},$$

$$a(x,t) = 6 \left[p(x-h,t) + 4p(x-\frac{h}{2},t) + p(x,t) \right]^{-1}, \quad 0 < c_1 \leq a(x,t) \leq c_2,$$

$$u_1(x) = \bar{v}_0(x) + \frac{\tau}{2} \left[(k(x,0)u'(x,0))' - mu(x,0) + f(x,0) \right], \quad x \in \omega_h.$$

При указанных параметрах эта схема имеет порядок погрешности аппроксимации равный 4-ом по пространству и 2-ом по времени

УСТОЙЧИВОСТЬ ПО НАЧАЛЬНЫМ ДАННЫМ И ПРАВОЙ ЧАСТИ

Теорема 1. Пусть выполнено следующее условие $\tau \geq \max \left\{ 1, \sqrt{\frac{2}{3k_1}} \right\} h$.

Тогда имеет место оценка

$$\begin{aligned} \|y_0^{n+1} - y^{n+1}\|_C^2 \leq & M_1 \{ \|y_0 - u_1\|^2 + \frac{c_2}{2} (3 \|y_{0\bar{x}} - u_{0\bar{x}}\|^2 + 2\tau^2 \|y_{1\bar{x}} - u_{1\bar{x}}\|^2) + \\ & + \frac{m}{2} (3 \|y_0 - u_0\|^2 + 2\tau^2 \|y_0 - u_1\|^2) + c \sum_{k=1}^n \tau \|y^k - u^k\|^2 \}. \end{aligned}$$

выражающая ρ -устойчивость решения разностной схемы (4)-(6) по начальным данным, правой части в сеточных нормах $L_2(\omega_h), W_2^1(\omega_h), C(\bar{\omega}_h)$.

СХОДИМОСТЬ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ В СЕТОЧНОЙ НОРМЕ

Теорема 2. Пусть выполнены условия теоремы 1. Тогда решение разностной схемы (4) - (6) сходится к точному решению дифференциальной задачи (1) - (3) в сеточной норме $C(\bar{\omega}_h)$ и для её решения имеет место оценка точности

$$\|y^n - u^n\|_C \leq M_2 (h^4 + \tau^2), \quad \forall n = 0, 1, \dots, N_0, \quad M_2 = \text{const} > 0.$$

КВАЗИЛИНЕЙНЫЕ УРАВНЕНИЯ КЛЕЙНА-ГОРДОНА

В этом пункте посмотрим начально-краевую задачу для одного типа квазилинейного уравнения Клейна-Гордона

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \phi(u)}{\partial x^2} - m f_1(u) + f(x, t), \quad m = \text{const} > 0, \quad (7)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \bar{u}_0(x), \quad (8)$$

$$u(0, t) = \mu_1(t), \quad u(l, t) = \mu_2(t), \quad (9)$$

с условием $\phi'_u = k(u) \geq k_1 > 0$.

Недостатком предложенных А.А. Самарским компактных разностных схем для уравнений с переменными коэффициентами является невозможность их обобщения на случай квазилинейных уравнений, так как соответствующий шаблонный функционал должен вычисляться в полужелой точке, которая не существует для квазилинейного случая. Но если квазилинейное уравнение может переписать в виде (7), тогда для его можно строить компактные схемы четвертого порядка аппроксимации по про-

странству и второго по времени, аналогичные схемам для случая постоянных коэффициентов. Соответствующие разностные схемы для задачи (7) - (9) имеет вид:

$$y_{\bar{n}} = [\phi(y)]_{\bar{x}\bar{x}}^{(\sigma, \sigma)} - mf_1(y) + \bar{f} - \frac{h^2}{12} y_{\bar{n}\bar{x}\bar{x}}, \quad (x, t) \in \omega_h \times \omega_\tau,$$

$$y(x, 0) = u_0(x), \quad x \in \bar{\omega}_h, \quad y_t(x, 0) = u_1(x), \quad x \in \omega_h,$$

$$y(0, t) = \mu_1(t), \quad y(l, t) = \mu_2(t), \quad t \in \omega_\tau,$$

в которой

$$\bar{v} = v + \frac{h^2}{12} v_{\bar{x}\bar{x}} = \frac{5}{6}v + \frac{1}{12}(v_{+1} + v_{-1}), \quad 0 < \sigma \leq 1,$$

$$u_1(x) = \bar{u}_0(x) + \frac{\tau}{2} [\phi''(u_0(x)) - mf_1(u_0(x)) + f(x, 0)], \quad x \in \omega_h.$$

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В этом пункте приводятся результаты численных расчетов при решении начально-краевой задачи (1) - (3) с коэффициентом $k(x) = 2x + 3$, правой частью $f(x, t) = -5e^{\sqrt{2}x}(\cos 2t + \sin 2t)(4x + 7 + 2\sqrt{2})$ и выбранными параметрами $m = 3$, $l = 2$, $T = 10$. Начальные и краевые условия определяются из точного решения $u(x, t) = 5e^{\sqrt{2}x}(\cos 2t + \sin 2t)$. Порядок сходимости по временной и пространственной переменным в норме $L_\infty = C$ определяется по следующим формулам:

$$p_\infty^h = \log_2 \frac{\|z(2h, \tau)\|_{L_\infty}}{\|z(h, \tau)\|_{L_\infty}}, \quad p_\infty^\tau = \log_2 \frac{\|z(h, 2\tau)\|_{L_\infty}}{\|z(h, \tau)\|_{L_\infty}}.$$

Таблица 1

Скорость сходимости по h

h	τ	$\ z\ _{L_\infty}$	$P_{L_\infty}^h$	$\ z\ _{L_2}$	$P_{L_2}^h$
$h_0 = 0.125$	$\tau_0 = 0.015625$	5.49E-03	-	3.94E-03	-
$h_0/2^1$	$\tau_0/4^1$	3.65E-04	3.91055	2.74E-04	3.84501
$h_0/2^2$	$\tau_0/4^2$	2.31E-05	3.98547	1.73E-05	3.98513
$h_0/2^3$	$\tau_0/4^3$	1.45E-06	3.99283	1.09E-06	3.99744

Таблица 2

Скорость сходимости по τ

h	τ	$\ z\ _{L_\infty}$	P_∞^τ	$\ z\ _{L_2}$	$P_{L_2}^\tau$
$h_0 = 0.015625$	$\tau_0 = 0.0078125$	1.42E-03	-	1.06E-03	-
h_0	$\tau_0/2^1$	3.63E-04	1.97285	2.70E-04	1.9671
h_0	$\tau_0/2^2$	9.10E-05	1.99606	6.81E-05	1.98902
h_0	$\tau_0/2^3$	2.28E-05	1.99651	1.71E-05	1.99493

Отсюда видно, что построенная разностная схема имеет четвертый порядок точности по пространственной переменной и второй по временной.

Библиографические ссылки

1. *П. П. Матус, Х. Т. К. Ань.* Компактные разностные схемы для уравнения Клейна-Гордона // Доклады НАН Беларуси. 2020. Т. 64, № 5. С. 526–533.
2. *П. П. Матус, Х. Т. К. Ань.* Компактные разностные схемы для уравнения Клейна-Гордона с переменными коэффициентами // Доклады НАН Беларуси. 2021. Т. 65, № 1. С. 25–32.
3. *П. П. Матус, Х. Т. К. Ань.* Компактные разностные схемы на трехточечном шаблоне для гиперболических уравнений второго порядка // Дифференц. уравнения. 2021. Т. 57, № 7 (в печати).
4. *А. А. Самарский.* Схемы повышенного порядка точности для многомерного уравнения теплопроводности // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1963. Т. 3, № 5. С. 812–840.
5. *А. А. Самарский.* Теория разностных схем. М., 1989. 616 с.
6. *В.И. Паасонен.* Компактные схемы для систем уравнений второго порядка с конвективными членами // Численные методы механики сплошной среды, Новосибирск. 1998. Т. 3, № 1. С. 55–66.
7. *В.И. Паасонен.* Диссипативные асимметричные компактные схемы для уравнения колебаний // Вычислительные технологии. Специальный выпуск. 2001. Т. 6. № 2. С. 475–479.
8. *Luo Y., Li X., Guo C.* Fourth-order compact and energy conservative scheme for solving nonlinear Klein-Gordon equation// Numer. Methods Partial Differential Equations. 2017. Vol 33. P. 1283–1304.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ ПО ОПРОСНЫМ ДАННЫМ В ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ ОТРАСЛЕВЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

А. В. Бороховский

Белорусский государственный университет

Navubaru@gmail.com;

науч. рук. – В. И. Малюгин, канд. ф.-м. наук, доц.

В статье для анализа циклических изменений в экономических индикаторах для отдельных видов экономической деятельности (отраслей) построены эконометрические модели с опережающими статистическими индикаторами по опросным данным белорусских предприятий. Представляются модели двух типов (коррекции ошибок и с переключением состояний) с опережающим статистическим индикатором для прогнозирования базового экономического индикатора и анализа его циклических изменений для укрупненных отраслей «Транспорт» и «Промышленность».

Ключевые слова: базовые экономические индикаторы, статистические опережающие индикаторы по опросным данным, предиктивные эконометрические модели, экономические циклы, фильтр Ходрика – Прескотта, модель коррекции ошибок, модель с марковскими переключениями состояний.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка систем раннего обнаружения смены фаз экономических циклов на основе опережающих экономических индикаторов (ОЭИ) – это важная задача анализа и прогнозирования экономической активности. В странах Европейского союза в настоящее время используется методология построения системы опережающих индикаторов по опросным данным, разработанная «Статистическим департаментом организации экономического сотрудничества и развития и Европейской комиссией (ОЭСР-ЕК)» [1, 4], включающая: индексы доверия для отдельных видов экономической деятельности (ВЭД) и индекс экономических настроений (*economic sentiments index*) для экономики в целом (ИЭН). Методика ОЭСР-ЕК в настоящее время выступает в качестве общепринятого мирового стандарта построения экономических индикаторов по опросным данным.

Цель настоящего исследования – построение и применение указанных индексов в эконометрических моделях для базовых экономических показателей на временном интервале с января 2011 года по март 2021 года для рассматриваемых отраслей; с мая 2005 года по март 2021 года для экономики.

Варианты эконометрических моделей, рассматриваемых в работе: модели коррекции ошибок, основанные на подходе Энгла – Грейнджера; модели с марковскими переключениями состояний.

Исходными данными для построения опережающих индикаторов выступают результаты опросов порядка 2000 белорусских предприятий из четырех отраслей (промышленность, строительство, торговля, транспорт) в виде временных рядов «балансов ответов» на вопросы анкеты «Конъюнктура» НБ РБ [3].

Базовые экономические индикаторы (БЭИ) для рассматриваемых отраслей и экономики в целом представлены месячными временными рядами соответствующих объемов оказанных услуг или произведенной продукции.

ПРИМЕНЕНИЕ ОЭИ ДЛЯ АНАЛИЗА БИЗНЕС-ЦИКЛА БЭИ

Индексы доверия для отдельных ВЭД и индекс экономических настроений (ИЭН) для экономики в целом по опросным данным рассчитывается по прямому методу [1]. Для выделения циклов в сезонно скорректированных временных рядах отраслевых экономических индикаторов и БЭИ применяется двухэтапная процедура, основанная на фильтре Ходрика – Прескотта с различными значениями управляемого параметра λ : на этапе 1 (выделение тренда и получение цикла с шумовым компонентом) $\lambda_1 = 42131.155$; на этапе 2 (очистка цикла от шумового компонента) $\lambda_2 = 13.93$ [1, 2].

Полученные циклы сезонно скорректированных временных рядов ИД TRC_SA_C и БЭИ транспорта (объем грузооборота) $BASE_TR_SA_C$ приведены на рисунке 1.

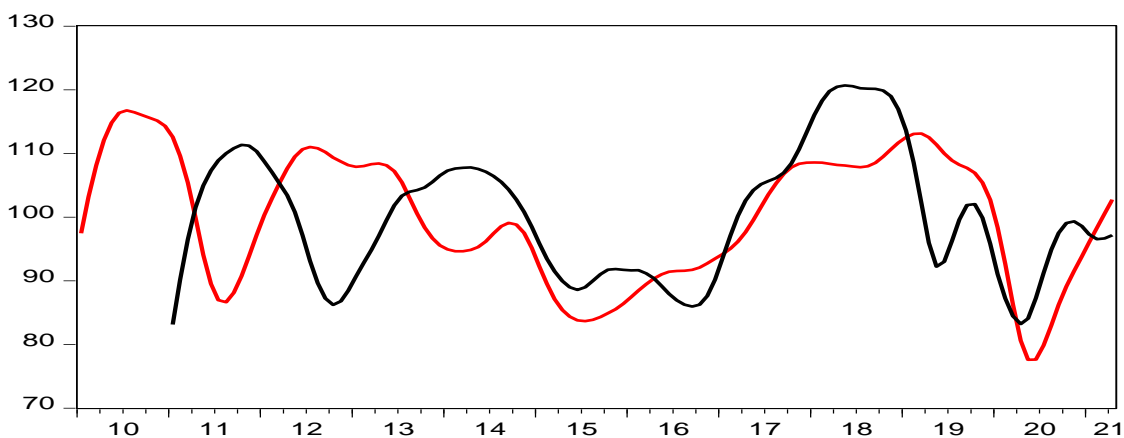


Рис. 1. Графики $BASE_TR_SA_C$ (черная линия), TRC_SA_C (красная линия)

TRC_SA_C демонстрирует наличие опережающего характера по отношению к $BASE_TR_SA_C$. Запоздание поворотной точки цикла TRC_SA_C во 2 квартале 2020 года на 3 месяца объясняется неопределенностью на рынке из-за пандемии. В дальнейшем наблюдается совпадение динамики TRC_SA_C и $BASE_TR_SA_C$.

Полученные циклы сезонно скорректированных временных рядов ИД промышленности IC_SA_C и БЭИ промышленности $BASE_IND_SA_C$ (номинальный объем промышленной продукции) приведены на рисунке 2.

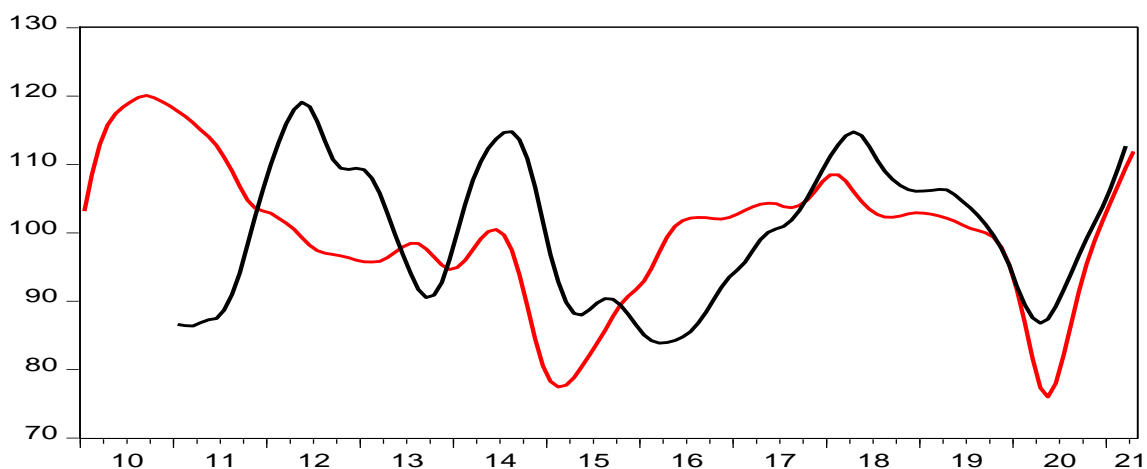


Рис. 2. Графики $BASE_IND_SA_C$ (черная линия), IC_SA_C (красная линия)

Наблюдаемая динамика цикла IC_SA_C свидетельствует о наличии опережающего характера по отношению к $BASE_IND_SA_C$. Во 2-ом квартале 2020 года имеет место запоздание поворотной точки цикла ИД на 1 месяц по отношению к БЭИ, однако последующие наблюдения свидетельствуют о наличии опережающего характера IC_SA_C к $BASE_IND_SA_C$.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ В ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЯХ

Формула (1) описывает уравнение для краткосрочных изменений базового индикатора TR_SA для вида экономической деятельности «Транспорт»:

$$D(TR_SA) = -0,26 \times (TR_SA(-1) - 32,46 \times TRC_SA(-1) - 11233,54) - 0,11 \times D(TR_SA(-1)) + 7,04 \times D(TRC_SA(-1)).(1)$$

В круглых скобках уравнения (1) записано уравнение для отклонений от долгосрочной коинтеграционной зависимости между базовым экономическим индикатором TR_SA и статистическим опережающим индикатором TRC_SA . Коинтеграционная зависимость установлена с помощью теста Энгла – Грейнджера. Характеристика точности прогнозов для TR_SA приведена в таблице.

Таблица

Характеристика точности прогнозов для TR_SA

Критерий оценки	Значение
Root Mean Square Error	470,75
Mean Absolute Error	435,98
Theil Inequality Coefficient	0,0227

В моделях с марковскими переключениями состояний [2] предполагается наличие двух состояний:

- состояние 1 — «подъем и замедление» (выше среднего уровня),
- состояние 2 — «спад и восстановление» (ниже среднего уровня).

На рисунке 3 иллюстрируются результаты применения построенной модели с марковскими переключениями состояний для вида экономической деятельности «Промышленность». График вероятности состояния 1 на рисунке 3 (кусочно-ломанная линия) хорошо согласуется с циклической составляющей БЭИ, полученной с помощью фильтра Ходрика – Прескотта (непрерывная линия).

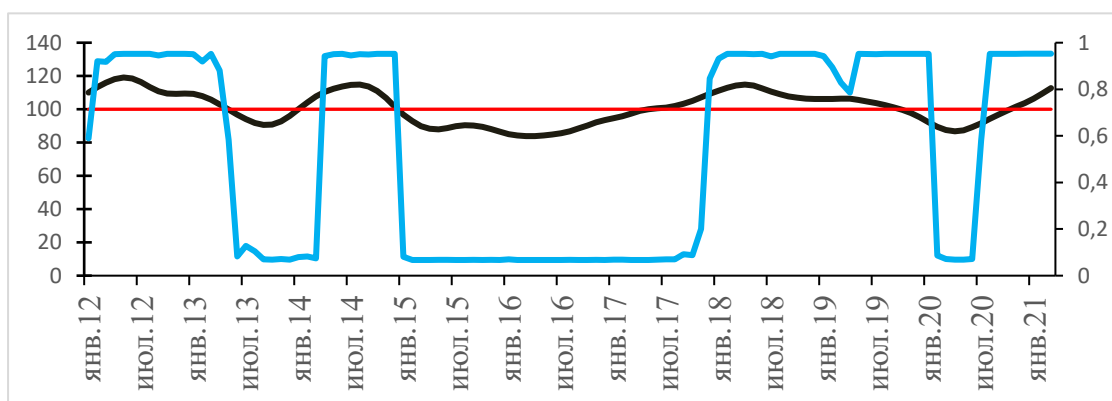


Рис. 3. Цикл БЭИ промышленности (непрерывная линия), средний уровень, равный 100 (прямая линия), вероятности переключения состояния 1 (кусочно-ломанная линия)

Библиографические ссылки

1. Eurostat ESS Guidelines on Seasonal Adjustment // Eurostat Methodologies and Working Papers, European Commission. 2009. 127 p.
2. Малюгин В. И., Крук Д. Э., Милевский П. С. Индекс экономических настроений белорусской экономики: методические, модельные и инструментальные средства построения и применения // Банковский вестник. Исследования банка. 2019. № 16. 29 С.
3. Малюгин В. И., Макаревич А. С. Модель MS-VARX и её применение для анализа бизнес-цикла белорусской экономики // Банковский вестник / НБ РБ. Минск, 2020. Ном. 4. С. 22-32.
4. Экспресс-обзор «Экономическая конъюнктура» / НБ РБ. URL: https://www.nbrb.by/publications/economicconjuncture/enterprisemonitoring_methodology.pdf (дата обращения: 21.04.2021)

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «КУЛИНАРНЫЙ ПОМОЩНИК»

А.С. Ворган

Белорусский государственный университет, г. Минск;

hannavarhan@gmail.com;

науч. рук. – О.М. Кондратьева, ст. преп.

В статье представлены этапы разработки мобильного приложения «Кулинарный помощник». В приложении реализован следующий функционал: возможность регистрации и последующей авторизации в системе, просмотр рецептов из общей базы данных, сохранение рецептов в персональную кулинарную книгу, поиск по карте ближайших продуктовых магазинов, сервис рекомендаций. Представлен процесс наполнения базы данных рецептов, которая включает почти 20000 экземпляров. Приведены принцип работы и пример сервиса рекомендаций.

Ключевые слова: мобильное приложение; персональные рекомендации; база данных Firebase; библиотека jsoup; сервис рекомендаций.

МОТИВАЦИЯ

Старая история – переписать рецепт блюда у родственников, друзей, знакомых. Интернет и глобальная цифровизация сделали этот процесс всеобъемлющим. Теперь, чтобы поделиться рецептом, надо просто выложить его на любой сайт. А для того, чтобы найти какой-то рецепт, достаточно набрать запрос в строке поиска. Однако нет никакой гарантии, что полученные результаты будут точно соответствовать нашим потребностям. Вдобавок, желательно получить оригинальное и проверенное решение. Вероятнее всего, необходимый рецепт действительно существует на просторах Интернета, но вопрос уже в том, насколько качественно поисковая система позволит его найти.

Все большую популярность набирают приложения-агрегаторы. Такие приложения позволяют быстро и удобно получить всю необходимую информацию в одном месте. Агрегаторы собирают информацию из определенных источников и на основании того, какие запросы до этого выполнял пользователь, предлагают наиболее подходящие варианты. Все это позволяет экономить время на самостоятельном поиске и сравнении по различным критериям.

Поэтому для обеспечения качественного поиска и удобного сохранения рецептов решено было разработать приложение «Кулинарный помощник».

В мире зарегистрировано более 5 миллиардов владельцев мобильных устройств. И их число постоянно растет [1]. Рынок мобильных приложений развивается стремительным образом. Поэтому представляется, что

мобильное приложение является наиболее удачным вариантом для реализации необходимого функционала.

БАЗА ДАННЫХ РЕЦЕПТОВ

Чтобы пользователь с наибольшей вероятностью мог найти нужный ему рецепт, необходимо создать и наполнить базу данных достаточным количеством информации. Для получения данных о рецептах был выбран сайт [2], который содержит более 47000 рецептов с пошаговой инструкцией и списком ингредиентов. Важно, чтобы данные на сайте были надежными, подробными, а также удобно обрабатывались.

Наполнить базу данных вручную проблематично и неэффективно. Разработано вспомогательное приложение, которое получает ссылку на сайт с рецептами, извлекает и сохраняет информацию о рецепте: название, категория, время приготовления, кухня, количество порций, подробное описание, ингредиенты и пошаговая инструкция. В результате работы этого приложения была сформирована база данных, включающая в себя почти 20000 рецептов. Приложение реализовано с помощью Java-библиотеки jsoup, предназначенной для разбора HTML-страниц.

Следующим шагом разработки был выбор системы управления базой данных. Кроме хранения всех рецептов, необходим функционал, предусматривающий возможность авторизации пользователя и хранения его персональной кулинарной книги. Такие возможности предлагает база данных Firebase от Google. Она является облачной, что позволяет не хранить данные на устройстве пользователя. Вдобавок, облачные системы позволяют получать постоянно обновляемые и синхронизированные данные. Преимуществом Firebase перед другими базами данных является возможность регистрации и авторизации пользователей, высокий уровень безопасности на основе шифрования данных и выполнение регулярного резервного копирования. Кроме того, в ней можно хранить большие объемы данных, в том числе и медиа-файлы, используя модель онлайн-хранилища Cloud Firestore.

СЕРВИС РЕКОМЕНДАЦИЙ

Рекомендательные системы – это набор алгоритмов, программ и сервисов для предложения пользователю товаров или услуг, которые будут ему наиболее интересны. Сегодня любые поисковые запросы практически не обходятся без попытки существующей системы предложить клиенту товары или услуги, в которых он «по ее мнению» нуждается.

Существуют различные виды систем рекомендаций. В приложении реализован content-base сервис рекомендаций. Для того чтобы определить, какие рецепты являются похожими, строится вектор рецепта, сформированный из основных его характеристик. Наибольший вес имеет категория рецепта, также учитываются ингредиенты, кухня и даже отдельные слова в названии и описании рецепта. Когда пользователь добавляет рецепт в кулинарную книгу, его вектор суммируется с векторами уже добавленных рецептов, и новый вектор нормируется. Он называется вектором интереса.

Однако сложность задачи состоит в том, что не все текстовое описание товара важно, и только основные характеристики должны влиять на формирование вектора. Поэтому необходимо оценить важность слов в текстовом описании. Этим занимается раздел интеллектуального анализа текста (text mining), связанный с TF-IDF моделью. TF-IDF – мера в статистике, которая используется для оценки важности слова в тексте. Согласно этой модели, вес некоторого слова в тексте прямо пропорционален частоте, с которым это слово встречается [3].

На рисунке представлены два экрана мобильного приложения «Кулинарный помощник». Слева – фрагмент кулинарной книги пользователя, справа – соответствующий результат работы сервиса рекомендаций. В кулинарной книге пользователя хранятся рецепты различных категорий, все из которых содержат слово «курица». Кроме того, можно заметить, что слово «ризотто» в кулинарной книге пользователя встречается два раза, поэтому и в списке ризотто находится на верхних позициях.

СЕРВИС КАРТ

Для включения в приложение возможности выбора подходящего магазина для покупки продуктов была проделана следующая работа:

- проанализирован рынок поставщиков карт: сервис карт Google Maps, библиотека Яндекс.Карты, платформа Here и ряд других;
 - интегрирован сервис карт Google Maps в «Кулинарный помощник».
- В результате можно определить местоположение устройства и «увидеть» ближайшие продуктовые магазины.

Сервис карт нуждается в дальнейшей доработке. Желательно знать, где есть в продаже нужные продукты и сколько они стоят. Очевидно, что получение интерактивного доступа к такой информации является нетривиальной задачей.

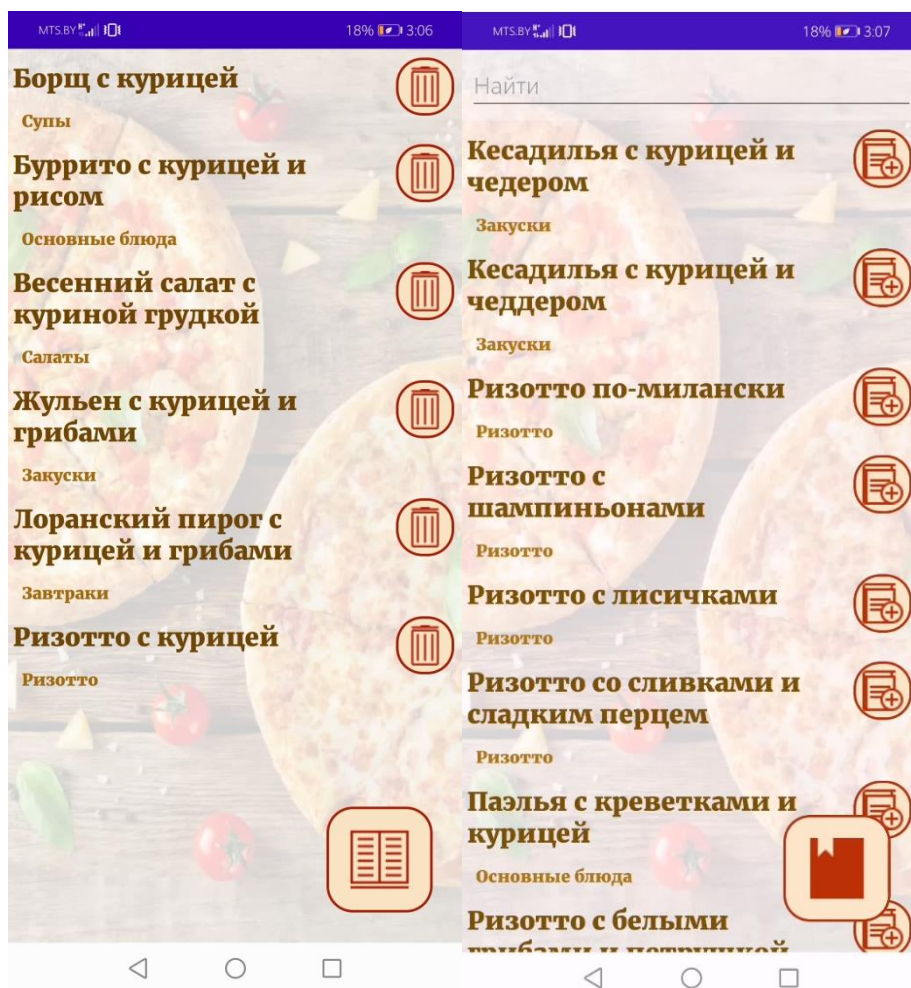


Рис. Кулинарный помощник

Библиографические ссылки

1. РБК: деловое информационное пространство // Анализ рынка мобильных приложений и тренды 2020 года. URL: <https://pro.rbc.ru/demo/5f96f3ac9a794754352860b9?from=newsfeed> (дата доступа: 04.05.2021).
2. Рецепты // Еда. URL: <https://eda.ru/recepty> (дата доступа: 11.05.2021).
3. Vector space model // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_space_model (date of access: 14.05.2021).

ПОИСК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ Bcr-ABL ТИРОЗИНКИНАЗЫ МЕТОДАМИ ВИРТУАЛЬНОГО СКРИНИНГА И МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. Гончар

Белорусский государственный университет, г. Минск;

raphaelkyzy@gmail.com;

науч. рук. – Николаев Г.И., ст. преп.

В данной работе осуществлен поиск потенциальных ингибиторов нативной и мутантной (T315I) форм Bcr-Abl тирозинкиназы на основе фармакофорной модели комплекса данного белка с известным ингибитором нилотинибом методами молекулярного моделирования. В результате исследования были идентифицированы десять соединений-лидеров, которые согласно расчетным данным, могут послужить базовыми структурами для разработки на их основе эффективных потенциальных ингибиторов каталитического домена Bcr-Abl тирозинкиназы.

Ключевые слова: хронический миелоидный лейкоз; Bcr-Abl тирозинкиназа; ингибиторы; виртуальный скрининг; молекулярный докинг.

ВВЕДЕНИЕ

Хронический миелоидный лейкоз — это рак клеток крови, характеризующийся нерегулируемым делением зрелых гранулоцитов и сосредоточением их в крови и костном мозге, откуда затем они перемещаются и образуют скопления в других жизненно важных органах, например, печени или селезенке [1]. На данный момент не существует лекарства, способного вылечить эту болезнь, но успешно применяется таргетная терапия ингибиторами тирозинкиназы, которая позволяет значительно продлить жизнь человека, страдающего миелолейкозом. Причиной хронического миелолейкоза является хромосомная мутация, приводящая к появлению химерного белка Bcr-Abl тирозинкиназы, который постоянно находится в активном состоянии и вызывает непрерывное деление иммунной клетки. Существует ряд эффективных ингибиторов тирозинкиназы, таких как иматиниб, нилотиниб, понатиниб. Но первые два не эффективны против специфической мутантной T315I (остаток треонина в положении 315 изменяется на остаток изолейцина) формы тирозинкиназы. На сегодняшний день из одобренных ингибиторов только понатиниб успешно воздействует на данную мутантную форму.

Целью данной работы является поиск потенциальных ингибиторов нативной и мутантной (T315I) форм Bcr-Abl тирозинкиназы. Для этого были использованы такие методы молекулярного моделирования как виртуальный скрининг, молекулярный докинг, молекулярная динамика.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первым этапом исследования являлся виртуальный скрининг, гипотезой для которого выступала фармакофорная модель на основе уже известного мощного ингибитора, лекарственного препарата, нилотиниба. Для ее построения были проанализированы рентгенографические исследования комплекса Vcr-Abl/нилотиниб [1] и фармакофорная модель нилотиниба для Vcr-Abl тирозинкиназы, полученная с помощью подхода 3D-QSAR [2]. Непосредственно построение фармакофорной модели (табл. 1) и виртуальный скрининг проводились с помощью веб-сервиса Pharmit [3], в качестве входных данных были загружены нативная форма тирозинкиназы и нилотиниб из комплекса 3cs9 базы данных PDB.

Таблица 1

Фармакофорная модель на основе нилотиниба

Тип фармакофора	X	Y	Z	Радиус (Å)
Ароматический	33,09	0,45	52,07	1,1
Донор ВС	25,94	3,23	53,06	0,5
Акцептор ВС	35,2	-2,63	48,66	0,5
Акцептор ВС	27,37	3,05	51,31	0,5
Гидрофобный	33,09	0,45	52,07	1,0

В результате виртуального скрининга было идентифицировано 32807 соединений, удовлетворяющих «правилу пяти» Липинского [4].

Для анализа взаимодействия отобранных соединений с молекулярной мишенью (нативной и мутантной формами тирозинкиназы) был проведен молекулярный докинг. В качестве эталонных ингибиторов для нативной формы рассматривался нилотиниб, а для мутантной – структурный аналог понатиниба AP24589, полученный из файла 3ou3 комплекса Vcr-Abl (T315I) / AP24589 в PDB. Молекулярный докинг осуществлялся с помощью программы QuickVina 2 [5] в полужестком приближении (подвижный лиганд, фиксированный белок). Параметр глубины конформационного поиска лиганда был принят равным 150.

Для комплексов белок-лиганд, образованных 100 лучшими по результатам докинга соединениями, была рассчитана константа диссоциации с помощью нейросетевой оценочной функции NNScore 2.0 [6]. На основе четырех оценок было выделено 10 соединений-лидеров. В таблице 2 представлены их физико-химические параметры. Результаты докинга представлены в таблице 3.

Таблица 2

Химические соединения, потенциальные ингибиторы нативной и мутантной (Т315I) форм Vcr-Abl тирозинкиназы

Лиганд	Химическая формула	Молекулярная масса (Да)	Число доноров водородной связи	Число акцепторов водородной связи	LogP
1	C ₂₇ H ₂₅ N ₃ O ₃	439,5	2	6	3,8
2	C ₂₄ H ₂₃ N ₃ O ₂	385,5	2	5	3,57
3	C ₂₃ H ₂₂ N ₄ O ₂	386,5	2	6	2,15
4	C ₂₁ H ₂₂ N ₄ O ₂ S	394,2	2	6	3,27
5	C ₂₀ H ₂₀ N ₄ O ₂ S	380,2	2	6	2,9
6	C ₂₁ H ₂₂ N ₄ O ₂ S	394,2	2	6	3,3
7	C ₂₅ H ₂₅ N ₅ O ₂ S	459,6	3	6	3,6
8	C ₂₂ H ₂₄ N ₆ O ₄	436,5	2	7	1,6
9	C ₂₂ H ₂₄ N ₆ O ₃	420,5	2	6	2,9
10	C ₂₁ H ₂₂ N ₆ O ₄	422,4	2	7	1,8

Таблица 3

Оценка свободной энергии связывания с использованием метода MM/GBSA, результаты молекулярного докинга и NNScore2.0

Лиганд	$\langle \Delta H \pm (\Delta H)_{STD} \rangle$ (ккал/моль) (Vcr-Abl)	ΔG (докинг) (ккал/моль) (Vcr-Abl)	$\langle \Delta H \pm (\Delta H)_{STD} \rangle$ (ккал/моль) (Т315I)	ΔG (докинг) (ккал/моль) (Т315I)
Нилоти-ниб	-47,88 ± 4,06	-15,1	-41,19 ± 3,21	-10,8
AP24589	-56,1 ± 4,17	-11,4	-56,15 ± 4,61	-12,6
1	-42,20 ± 3,88	-13,8	-50,88 ± 3,69	-12,3
2	-47,8 ± 3,03	-12,3	-44,23 ± 3,52	-11,1
3	-42,7 ± 3,07	-11,8	-40,26 ± 3,46	-10,9
4	-43,0 ± 3,04	-12,3	-38,08 ± 2,51	-11,1
5	-39,54 ± 3,00	-12,0	-43,72 ± 3,36	-11,3
6	-42,16 ± 2,66	-11,9	-50,65 ± 3,13	-11,2
7	-49,69 ± 3,68	-11,9	-37,09 ± 3,83	-10,9
8	-43,74 ± 3,08	-11,8	-38,98 ± 3,40	-10,8
9	-47,51 ± 3,14	-11,9	-35,22 ± 3,95	-11,1
10	-44,5 ± 3,29	-12,0	-39,03 ± 4,0	-10,9

Для лучших 10 соединений была проведена молекулярная динамика с помощью пакета программ Amber [7], в расчетах для лиганда было использовано силовое поле GAFF, для белка FF14SB. Явным растворителем выступал раствор воды модели TIP3P, молярной силой 0.15 М. После этапа подготовки был выполнен расчет молекулярной динамики длительностью 30 нс в рамках ансамбля NPT при температуре 310 К и давлении 1.0 бар. Оценка свободной энергии связывания без учета энтропийного

вклада рассчитывалась с помощью программы Amber MMPBSA.py с использованием метода MM/GBSA [8] по фреймам траекторий, соответствующим последним 25 нс динамики и шагу 0.125 нс. Результаты представлены в таблице 3.

По итогам данной работы, с учётом оценки энергии связывания, полученной с помощью метода молекулярной динамики, из 10 наилучших идентифицированных соединений было решено выделить три потенциальных ингибитора для нативной формы (2, 7, 9), два для мутантной (1, 6), а также было найдено одно соединение (2), которое с большой вероятностью будет ингибировать обе формы тирозинкиназы.

Библиографические ссылки

1. *Sabitha K.* Nilotinib based pharmacophore models for BCRABL. *Bioinformation.* 2012;8(14):658-663. doi: 10.6026/97320630008658
2. *Weisberg E., Manley P., Mestan J.* AMN107 (nilotinib): a novel and selective inhibitor of BCR-ABL. *Br J Cancer* 94, 1765–1769 (2006). doi: 10.1038/sj.bjc.6603170.
3. *Sunseri J., & Koes D. R.* Pharmit: interactive exploration of chemical space. *Nucleic Acids Research*, 2016, 44(W1), W442–W448. doi: 10.1093/nar/gkw287.
4. *Lipinski C. A., Lombardo F., Dominy B. W., Feeney P. J.* Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings. *Advanced Drug Delivery Reviews.* 2001 March 1, 46(1-3), 3–26. doi: 10.1016/s0169-409x(00)00129-0.
5. *Hassan N. M., Alhossary A. A., Mu Y., Kwoh, C.-K.* ProteinLigand Blind Docking Using QuickVina-W With Inter-Process Spatio-Temporal Integration. *Scientific Reports*, 2017 Nov 13, 7(1). doi: 10.1038/s41598-017-15571-7.
6. *Jacob D. Durrant and J. Andrew McCammon.* NnScore 2.0: A neural network receptor–ligand scoring function. *Journal of Chemical Information and Modeling* 2011, 51(11):2897–2903. doi: 10.1021/ci2003889.
7. *D.A. Case, K. Belfon, I.Y. Ben-Shalom, S.R. Brozell, D.S. Cerutti, T.E. Cheatham, III, V.W.D. Cruzeiro, T.A. Darden, R.E. Duke, G. Giambasu, M.K. Gilson, H. Gohlke, A.W. Goetz, R. Harris, S. Izadi, S.A. Izmailov, K. Kasavajhala, A. Kovalenko, R. Krasny, T. Kurtzman, T.S. Lee, S. LeGrand, P. Li, C. Lin, J. Liu, T. Luchko, R. Luo, V. Man, K.M. Merz, Y. Miao, O. Mikhailovskii, G. Monard, H. Nguyen, A. Onufriev, F. Pan, S. Pantano, R. Qi, D.R. Roe, A. Roitberg, C. Sagui, S. Schott-Verdugo, J. Shen, C.L. Simmerling, N.R. Skrynnikov, J. Smith, J. Swails, R.C. Walker, J. Wang, L. Wilson, R.M. Wolf, X. Wu, Y. Xiong, Y. Xue, D.M. York and P.A. Kollman* (2020), AMBER 2020, University of California, San Francisco.
8. *Rastelli G., Rio A. D., Degliesposti G., Sgobba M.* Fast and accurate predictions of binding free energies using MM-PBSA and MM-GBSA. *Journal of Computational Chemistry*, 2010. – Vol. 31, No 4. – P. 797-810. doi: 10.1002/jcc.21372.

ИНТЕГРАЦИЯ NODE-RED С YANDEX IOT CORE ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

О. Ю. Емельянова

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
fpm.emelyanoOY@bsu.by;
науч. рук. – И. С. Войтешенко, канд. тех. наук, доц.*

В настоящее время перспективной является идея расширения интернета различными устройствами для того, чтобы автоматизировать и упростить многие каждодневные процессы. Актуальной является задача тестирования таких систем, в том числе и оценки качества различных подходов. Среди возможных методов одним из ключевых является имитационное моделирование, которое позволяет оценить системы и их прототипы в различных условиях при относительно низких затратах. В данной работе предлагается способ проведения такого тестирования с использованием Node-RED и Yandex IoT Core. С помощью такой программы пользователь может моделировать условия окружающей среды и оценивать реакцию системы. В качестве демонстрации ее возможностей были проведены эксперименты в области управления энергопотреблением, на основе которых были сформулированы рекомендации по применению нескольких алгоритмов. Разработанный подход и программа может применяться для тестирования и исследования в сфере интернета вещей, в частности, для оценки качества систем управления энергопотреблением.

Ключевые слова: интернет вещей, домашняя автоматизация, система управления энергопотреблением, визуальное программирование, облачные технологии, имитационное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационных технологий в последние десятилетия привело к появлению такой концепции, как интернет вещей. В то время как привычный интернет связывает компьютеры, в рамках новой идеи к нему подключаются в том числе и обычные вещи: осветительное оборудование, бытовые приборы, отопительные системы, автомобили и многие другие. В связи с потенциальными тяжелыми последствиями некорректной работы таких систем необходимо исследование подходов к тестированию и изучению таких систем.

В данной работе под тестированием понимается как проверка системы на соответствие заранее определенным требованиям, так и оценка качества работы путем вычисления заданных показателей. Такая задача может возникать в том числе и при предварительном исследовании предметной области для определения наиболее перспективных подходов.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Построение физического прототипа системы сопряжено с большими дополнительными затратами ресурсов. При этом точное воспроизведение условий, в которых требуется оценить работу системы, зачастую невозможно, например, если задачей является проверка ее реакции на некоторые аномальные условия окружающей среды. Кроме того, может быть необходимо отследить изменения, происходящие на больших временных промежутках.

В связи с перечисленными особенностями для тестирования предлагается использование имитационного моделирования – воспроизведение на ЭВМ процесса функционирования исследуемой системы [2, с. 16]. Этот подход допускает детальное воспроизведение процессов, длительный период виртуального времени, отсутствие ограничений на структуру и объем входных и выходных данных [1].

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ

Инструменты для имитационного моделирования должны позволять реализовывать широкий круг сценариев тестирования и эмулируемых устройств, а также рассчитывать различные оценки качества. При этом созданная система должна быть легко изменяемой и дополняемой. Кроме того, хотелось бы разработать интуитивно понятный и доступный подход.

В качестве основного инструмента для реализации был выбран Node-RED – визуальное средство разработки, основанный на парадигме потокового программирования. Программа представляется как сеть так называемых узлов. Каждый узел имеет определенную цель: на вход поступают некоторые данные, они обрабатываются внутри, после чего передаются дальше по сети. За перемещение данных между узлами отвечает сеть [7]. Для сбора, передачи, хранения данных использовались облачные сервисы от компании Яндекс, в частности, Yandex IoT Core. Среда Node-RED также исполнялась на виртуальной машине на облачном сервере.

ЗАДАЧА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УМНОГО ДОМА

Для демонстрации возможностей разработанного подхода была выбрана сфера управления энергопотреблением с использованием домашней автоматизации. Коротко дадим обоснование актуальности исследований в данном направлении.

Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в структуре конечного потребления топливно-энергетических ресурсов в 2019 году жилищный сектор занимал почти 27% [4, с. 54]. Отметим,

что наиболее перспективной областью для оптимизации видится отопление, на которое в среднем затрачивается 59,2% от суммарной использованной энергии [3]. Автоматизация управления, то есть минимизация влияния пользователя на принятие решений, также является перспективной, ведь основной причиной неэффективности подобных интерактивных систем называется их неверное использование [5].

В данной работе была поставлена следующая задача. Существует система, управляющая обогревателем в помещении таким образом, чтобы температура оставалась в пределах заданного отклонения от целевого значения. Требуется оценить работу двух подходов, потенциально могущих снизить энергопотребление. Первый из них состоит в том, чтобы наблюдать за активностью людей, находящихся в доме, с использованием датчиков движения. В «неактивном» состоянии допускается меньшая температура [8]. Вторая стратегия использует датчик на входной двери, чтобы отслеживать моменты, когда люди покидают помещение или входят в него. Таким образом система может отключать отопление в те моменты, когда в помещении никого нет [8].

МОДЕЛЬ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА

Для моделирования показателей датчиков было использовано два основных подхода. Первый из них состоит в реализации математической модели, представляющей собой динамическую систему одновременных уравнений, интегрированную с источниками статистических данных [2, с. 17–18]. Например, температура в помещении может быть представлена как функция внешней температуры, параметров помещения, состояния системы отопления и так далее, например, как формула (1). Составные части при необходимости представляются аналогично, как в формулах (2) и (3). В процессе моделирования в каждый момент нужные показатели рассчитываются по этим формулам.

$$T_{\text{внутр}}(t + \Delta t) = cM_{\text{возд}}(Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{потерь}})\Delta t, \quad (1)$$

$$Q_{\text{нагр}} = (T_{\text{нагр}} - T_{\text{внутр}})Lc, \quad (2)$$

$$Q_{\text{потерь}} = \frac{T_{\text{внутр}} - T_{\text{внеш}}}{R_{\text{экв}}}. \quad (3)$$

Альтернативным подходом является выделение в системе так называемых агентов, для которых определяется множество состояний, переходы между ними, вызывающие их события, временные задержки, совершаемые

ими действия [2, с. 37–38]. Например, поведение жителей дома, представляемое через датчики движения, может быть задано таким образом, причем разным состояниям соответствуют разные сигналы или их отсутствие.

Кроме моделирования показателей датчиков, требуется оценка поведения системы. Для систем управления энергопотреблением это могут быть денежные затраты, которые необходимо минимизировать [6]. Вместе с тем система не должна приводить к значительным неудобствам для ее пользователей, для предотвращения чего вводится оценка комфорта. Наиболее часто предлагается оценка, основанная на линейном отклонении от целевых значений [6]. В качестве альтернативы можно также предложить расчет доли времени, проведенной в состоянии, отличном от желаемого.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основе описанных выше подходов были созданы 4 прототипа:

1. Базовая система, использующая только температуру внутри помещения.
2. Система, учитывающая также активность людей.
3. Система, учитывающая присутствие людей, но не активность.
4. Система, сочетающая оба подхода.

В результате эксперимента в течение 7 дней по виртуальному времени были получены данные, показанные в таблице.

Таблица

Показатели качества систем

Система	Потребление энергии		Комфорт	
	Общее	Среднее за день	По времени	По отклонению
1	104,13	14,87	0,0464	0,009
2	87,62	12,52	0,1201	0,0573
3	78,89	11,27	0,05	0,0136
4	70,99	10,14	0,0577	0,0197

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что наилучшей является четвертая система, использующая как факторы для принятия решений активность и присутствие людей в помещении. При этом подход, учитывающий присутствие, показал несколько лучшие результаты, чем учитывающий активность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был разработан и реализован подход к тестированию и оценке качества систем интернета вещей с использованием Yandex IoT Core и

Node-RED. Он позволил оценить преимущества, получаемые при дополнении простейшей системы, основанной на контроле температуры, некоторыми поведенческими компонентами. Проведенное в рамках данной работы исследование позволяет сделать вывод о возможности использования инструмента разработки Node-RED в сочетании с облачными технологиями, представляемыми сервисом Yandex IoT Core, и о преимуществах такого использования, к которым можно отнести легкость вхождения, удобство реализации, возможность переноса разработанного прототипа в среду применения. Подход рекомендуется к использованию при оценке систем интернета вещей или их прототипов.

Автор выражает благодарность А. А. Андрушевичу за постановку задачи.

Библиографические ссылки

1. *Левенцов В. А., Радаев А. Е., Николаевский Н. Н.* Аспекты концепции «Индустрия 4.0» в части проектирования производственных процессов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2017. С. 19–31.
2. *Акопов А. С.* Имитационное моделирование. Москва: Издательство Юрайт, 2016.
3. Потребление энергии в домашних хозяйствах Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. Минск, 2021. URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения 28.04.2021).
4. *Медведева И. В.* Энергетический баланс Республики Беларусь: стат. сборник / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева (председатель) [и др.]. Минск, 2020.
5. *Pritoni M.* Energy efficiency and the misuse of programmable thermostats: The effectiveness of crowdsourcing for understanding household behavior / M. Pritoni [et al.] // Energy Research & Social Science. Elsevier, 2015. Vol. 8. P. 190–197.
6. *Beaudin M., Zareipour H.* Home energy management systems: A review of modelling and complexity / Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 2015. Vol. 45. P. 318–335.
7. Node-RED [Electronic resource]. URL: <https://nodered.org> (date of access 13.05.2021).
8. *Liu, J.* The Smart Thermostat: Using Occupancy Sensors to Save Energy in Homes / J. Liu [et al.] // Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Zurich, Nov. 2010. Association for Computing Machinery. New York, 2010. P. 211–224.

ОБРАБОТКА МАЛЫХ ЯЗЫКОВ ПУТЁМ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСВОЕНИЯ ЯЗЫКА

Д. И. Качков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

dmitriydikanskiy@gmail.com;

науч. рук. – М.К.Буза, д-р тех. наук, проф.

В данной работе изучается проблема моделирования малых языков, для которых доступно ограниченное количество ресурсов для обучения. В настоящее время основное направление работы в рассматриваемой области – адаптация существующих моделей, разработанных для крупных языков, к условиям дефицита ресурсов. В данной работе рассматривается другой подход – моделирование усвоения языка ребёнком. Упор сделан на исследование усвоения лексики.

Ключевые слова: обработка естественного языка; малые языки; моделирование онтогенеза; векторное представление слов; нейронные сети

ВВЕДЕНИЕ

Туканские или туканоанские языки — семейство языков коренных жителей Южной Америки, которое насчитывает около 20 — 25 языков. Туканские племена проживают на северо-восточных территориях бассейна Амазонки, в южных и юго-восточных регионах Колумбии, а также прилегающих территориях Бразилии, Перу и Эквадора. Общая численность носителей туканских языков — около 20 тысяч человек [1].

Обосновать актуальность проблемы моделирования малых языков – в частности, туканской языковой семьи, – можно с помощью следующих четырёх аргументов.

Социальный аргумент. В настоящее время большинство материалов в глобальной сети Интернет доступно на английском, русском, китайском, испанском, турецком языках. Носители этих языков имеют доступ к бытовым, медицинским, экономическим, юридическим материалам. Носителям малых языков эти материалы не доступны. Возникает информационное неравенство. С помощью автоматических переводчиков с больших языков на малые можно дать людям равный доступ к знаниям. Показательно, что весной 2020 года появилось много работ о переводе медицинских текстов на языки Азии, Африки и Южной Америки: было необходимо как можно скорее распространить информацию о пандемии коронавируса и мерах борьбы с ним [2][3].

Лингвистический аргумент. Разработка языковой модели позволит использовать её в качестве дополнительного источника информации о малом языке. Исследования малых языков, в свою очередь, актуальны для

лингвистики, поскольку каждая черта каждого естественного языка даёт дополнительную информацию об устройстве языка вообще. Кроме того, отдельные характеристики малых языков являются необычными, то есть редко встречающимися в мире. Например, примечательность категории эвиденциальности в туюка отмечалась лингвистами [4, p. 240].

Культурный аргумент. Языковая модель может поспособствовать сохранению языка. С одной стороны, с её помощью можно порождать уникальные тексты и материалы на целевом языке. С другой стороны, она может использоваться как вспомогательный инструмент при обучении языку. Важность сохранения языков неоднократно обсуждалась в литературе [5]. Язык и мышление тесно связаны, и поэтому можно утверждать, что каждый язык отражает уникальный взгляд на мир. Следовательно, сохранение языков актуально не только для лингвистики, но также для этнографии, этнологии и культурной антропологии.

Научно-технический аргумент. Для компьютерной лингвистики моделирование малых языков — это вызов, который требует новых идей. После создания архитектуры нейронных сетей Transformer [6] развитие моделей крупных языков в основном идёт в направлении увеличения числа параметров и обучающей выборки. Например, в [7] был подготовлен корпус на триллион слов, а в [8] исследуется возможность обучить модель, содержащую триллион параметров. Для малых языков подобные подходы не применимы в силу малого числа доступных материалов. Исследователям надо предложить новые архитектуры, которые смогут работать в условиях дефицита ресурсов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСВОЕНИЯ ЯЗЫКА

Среди разработанных подходов к обработке малых языков можно выделить следующую тенденцию: приёмы, выработанные для крупных языков, адаптируются под условия дефицита ресурсов. Чаще всего адаптация осуществляется одним из двух путей: автоматическое расширение корпуса размеченных данных и совместное обучение, то есть трансфер знаний, полученных при обучении крупному языку [9].

В данной работе выдвигается другая гипотеза: возможно разработать модель малого языка на основе имитации усвоения языка ребёнком.

Важно понимать, что механизмы, которые помогают ребёнку эффективно усвоить родной язык, достоверно не изучены, однако стадии изучения языка детьми исследованы подробно [10, с. 75-85].

Вопрос моделирования онтогенеза языка исследовался в литературе. Как правило, целью таких исследований преимущественно является проверка психолингвистических гипотез о процессе изучения языка [11, p. 92].

В данной работе представлено несколько экспериментов, касающихся усвоения лексики малого языка.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОК ДЛЯ «ВИДИМЫХ» ПРЕДМЕТОВ

Изучение языка не происходит в отрыве от изучения мира: это два взаимно обусловленных процесса. Советский психолог Л. С. Выготский сближал факт развития значения слова с фактом развития сознания. Для него слово — это средство, которое отражает внешний мир в его связях и отношениях [12, с. 42].

Первый эксперимент предполагает, что каждому высказыванию сопоставлена некоторая «сцена», а слова интерпретируются как метки для событий, представленных на «сцене». Задача обучающейся системы – соотнести предметы и метки.

Данный эксперимент был основан на работе [13]. Источником высказываний служила база CHILDES [14], представляющая записи диалогов маленьких детей и их родителей. Компоненты фразы лемматизировались и переводились с помощью словаря на язык туюка. В качестве «сцены» использовался тот же набор лемм, с точки зрения программы представляющий собой набор объектов иной природы. Задачей системы было построение вектора вероятности того, что данное слово соответствует тому или иному объекту «сцены».

Обучение проводилось на 18000 предложениях, содержащих около 8000 уникальных слов. Для пар «слово – метка» модель оценивала вероятность, что данная метка обозначается данным словом. Корректные пары, встречающиеся более раза, получили оценку от 0.43 до 0.85, среднее значение – 0.71.

ИЗУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КВАНТОРНЫХ МЕСТОИМЕНИЙ

Отдельный интерес представляет изучение таких лексем, значение которых непредметно. В частности, таковой является местоимение «все».

В эксперименте рассматривалось множество объектов, обладающих двумя характеристиками: форма и цвет. Значение характеристик выбиралось из ограниченных множеств. Ситуацией называется набор, содержащий несколько объектов, не обязательно различных.

Каждой ситуации сопоставляется высказывание, построенное по следующей схеме: КВАНТОР + ЦВЕТ + ФОРМА. Здесь квантор – одно из слов «каждый», «существует», «отсутствует». Например, «каждый синий

треугольник», т. е. Каждая фигура в «ситуации» является синим треугольником. Задача интеллектуальной системы — вычислить, является ли истинным данное утверждение для данной ситуации.

Для обучения использовалась нейронная сеть с широким внутренним слоем (512 нейронов). Пересчёт коэффициентов производился для каждого 5-10 элементов выборки. Также использовались дополнительный оптимизации (оптимизатор Adam[15]) и технология дропаута — метода регуляризации нейронной сети, заключающегося в исключении на каждом шаге обучения случайного набора нейронов [16].

Тренировочная выборка содержала 4000 случайно сгенерированных экспериментов. Тестовая выборка содержала 500 уникальных записей. На 25 эпохах обучения удалось получить качество обучения около 94% (96,2% на наиболее успешном запуске).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе обоснована актуальность моделирования малых языков. Выдвинута гипотеза, согласно которой модель усвоения языка ребёнком может стать средством для автоматической работы с малыми языками. Произведено два эксперимента, касающихся усвоения лексики. Первый эксперимент включал соотношение слов-меток и объектов на «сцене». Второй эксперимент касался изучения значений непредметных слов, таких как «все» («каждый») и «никто» («отсутствует»). Результаты показали, что системы могут усваивать значения слов с помощью имитации взаимодействия ребёнка с окружающим миром.

Следующим этапом данного исследования должно стать усвоение морфологии и синтаксиса высказываний.

Библиографические ссылки

1. Герасимов Д. В. Туканоанские языки. // Большая российская энциклопедия. Том 32. Москва, 2016, стр. 478-479.
2. Anastasopoulos A., Cattelan A., Dou Z.-Y., ..., Tur S. TICO-19: the Translation Initiative for Covid-19 // Proceedings of the 1st Workshop on NLP for COVID-19 (Part 2) at EMNLP 2020. — <https://doi.org/10.18653/v1/2020.nlpcovid19-2.5>.
3. Spangher A., Peng N., May J., Ferrara E. Enabling Low-Resource Transfer Learning across COVID-19 Corpora by Combining Event-Extraction and Co-Training // Proceedings of the 1st Workshop on NLP for COVID-19 at ACL 2020.
4. Ferdinand De Haan. The Interaction of Modality and Negation: A Typological Study // The University of Southern California, 1994. — 270 p. — <https://doi.org/10.4324/9781315052380>.
5. Замятин К., Пасанен А., Саарикиви Я. Как и зачем сохранять языки народов России // Хельсинки, 2012. — 181 с. — ISBN 978-952-93-0407-3.

6. *Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., ..., Polosukhin I.* Attention is all you need. Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, Long Beach, California, USA, 4–9 December 2017, pp. 6000–6010. Available at: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>.
7. *Raffel C., Shazeer N., Roberts A., ..., Liu P. J.* Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer // ArXiv preprint 2019: <https://arxiv.org/abs/1910.10683>.
8. *Narayanan D., Shoeybi M., Casper, J., ..., Zaharia M.* Efficient Large-Scale Language Model Training on GPU Clusters // ArXiv preprint 2021: <https://arxiv.org/abs/2104.04473>.
9. *Hedderich M. A., Lange L., Adel H., Strötgen J., Klakow D.* A Survey on Recent Approaches for Natural Language Processing in Low-Resource Scenarios // ArXiv preprint, 2020: <https://arxiv.org/abs/2010.12309>.
10. *Бурлак С. А.* Происхождение языка. Факты, исследования, гипотезы // «Альпина Диджитал», 2019.
11. *Freudenthal D., Alishahi A.* Computational Models of Language Development // Brooks P. J., Kempe V. (eds). Encyclopedia of Language Development. — 1st ed. — 2014. — SAGE Publications, Inc. — pp. 92-96.
12. *Лурия, А. Р.* Язык и сознание. Под редакцией Е. Д. Хомской // М: Изд-во Моск. Унта, 1979, 320 с.
13. *Fazly A., Alishahi A., Stevenson S.* A Probabilistic Computational Model of Cross-Situational Word Learning // Cognitive Science. — 2010. — vol. 34. — iss. 6. — pp. 1017-1063. — <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2010.01104.x>.
14. *MacWhinney, B.* The CHILDES project: Tools for analyzing talk: Transcription format and programs (3rd ed.) // Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2000.
15. *Kingma D. P., Ba J. Adam.* A Method for Stochastic Optimization // Adam: A Method for Stochastic Optimization. Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations, 2015.
16. *Srivastava N.* Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting / N. Srivastava et al. // Journal of Machine Learning Research, 2014, vol. 15, no. 1. — P. 1929–1958.

СТРАТЕГИЯ С ЗАМЫКАНИЕМ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО ГАРАНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В MPC

Д. А. Костюкевич

Белорусский государственный университет, г. Минск;
kostukDA@bsu.by;
науч. рук. – Н. М. Дмитриук, канд. физ.-мат. наук, доц.

Рассматривается задача оптимального управления линейной дискретной системой с неизвестными ограниченными возмущениями, которую требуется за конечное время перевести с гарантией на терминальное множество, обеспечивая при этом минимум гарантированного значения заданного критерия качества. Определяется оптимальная стратегия управления, учитывающая информацию об одном будущем состоянии объекта, и на ее основе предлагается алгоритм управления по прогнозирующей модели (Model Predictive Control – MPC) [1].

Ключевые слова: оптимальное гарантированное управление, стратегия управления, управление по прогнозирующей модели.

Для дискретной линейной стационарной системы с возмущением

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + Mw(t), \quad x(0) = x_0, \quad t = 0, 1, \dots, T-1, \quad (1)$$

рассматривается задача минимизации гарантированного значения критерия качества

$$J(u) = \max_w \sum_{t=0}^{T-1} (\|Qx(t)\|_\infty + \|Ru(t)\|_\infty) + \|Px(T)\|_\infty, \quad (2)$$

при условии попадания траектории на заданное терминальное множество $X_T = \{x \in \mathbf{R}^n : Hx \leq g\}$. Здесь $x(t) \in \mathbf{R}^n$ — состояние, $u(t) \in U \subset \mathbf{R}^r$ — управление, $w(t) \in W \subset \mathbf{R}^p$ — неизвестное возмущение; $A, Q, P \in \mathbf{R}^{n \times n}$, $B \in \mathbf{R}^{n \times r}$, $M \in \mathbf{R}^{n \times p}$, $R \in \check{\mathbf{Y}}^{r \times r}$, $H \in \mathbf{R}^{m \times n}$, $g \in \mathbf{R}^m$; $U = \{u \in \mathbf{R}^r : \|u\|_\infty \leq u_{\max}\}$, $W = \{w \in \mathbf{R}^p : \|w\|_\infty \leq w_{\max}\}$, где норма $\|z\|_\infty = \max_i |z_i|$. Задача в приведенной формулировке непосредственно используется для построения стабилизирующей обратной связи в схеме MPC [5]. В данной работе предлагается новый подход к определению стратегии управления для (1).

Пусть $T_1 \in \{1, 2, \dots, T-1\}$ — некоторый момент времени (называемый моментом замыкания системы (1), согласно [2, 3]), который разбивает промежуток управления на $\Delta_0 = \{0, 1, \dots, T_1-1\}$ и $\Delta_1 = \{T_1, T_1+1, \dots, T-1\}$.

Для промежутков $\Delta_k, k = 0, 1$, определим: $u_k(\cdot) = (u_k(t) \in U, t \in \Delta_k)$, $w_k(\cdot) = (w_k(t) \in W, t \in \Delta_k)$ — управление и возмущение, $U_k = \{u_k(\cdot) : u_k(t) \in U, t \in \Delta_k\}$, $W_k = \{w_k(\cdot) : w_k(t) \in W, t \in \Delta_k\}$ — множество

доступных управлений и возмущений на k -ом промежутке;
 $X(T_1 | x_0, u_0(\cdot)) = \{x \in \mathbf{R}^n : x = x(T_1 | x_0, u_0(\cdot), w_0(\cdot)), w_0(\cdot) \in W_0\}$,
 $X(T | x_1, u_1(\cdot)) = \{x \in \mathbf{R}^n : x = x(T | x_1, u_1(\cdot), w_1(\cdot)), w_1(\cdot) \in W_1\}$ — множества всех состояний в моменты времени T_1 и T , где $x(t | x_k, u_k(\cdot), w_k(\cdot))$ — состояние системы (1) с начальным условием $x(0) = x_0$ или $x(T_1) = x_1$ под действием управления $u_k(\cdot)$ и возмущения $w_k(\cdot)$.

Предположение 1. До начала процесса управления известно, что в момент T_1 будет измерено текущее состояние $x_1 = x(T_1 | x_0, u_0(\cdot), w_0(\cdot))$, с учетом которого можно будет выбрать новое управляющее воздействие $u_1(\cdot) = u_k(\cdot | x_1)$ на Δ_1 .

Следуя работам [3, 4], будем искать решение рассматриваемой задачи в виде *стратегии управления* с моментом замыкания T_1

$$\pi_1 = \pi_1(0, x_0) = \{u_0(\cdot | x_0); u_1(\cdot | x_1), x_1 \in X(T_1 | x_0, u_0(\cdot | x_0))\}.$$

Определение 1. Стратегия π_1 называется *допустимой стратегией управления с моментом замыкания T_1* , если

$$X(T | x_1, u_1(\cdot | x_1)) \subseteq X_T \quad \forall x_1 \in X(T_1 | x_0, u_0(\cdot | x_0)).$$

Оптимальную стратегию управления определим как

$$\pi_1^0 = \pi_1^0(0, x_0) = \{u_0^0(\cdot | x_0); u_1^0(\cdot | x_1), x_1 \in X(T_1 | x_0, u_0^0(\cdot | x_0))\}, \quad (3)$$

где $u_0^0(\cdot | x_0)$ будем называть оптимальной начальной программой.

Задача управления на промежутке Δ_1 заключается в отыскании оптимальной гарантирующей программы $u_1^0(\cdot | x_1)$, как решения задачи

$$J_1(x_1) = \min_{u_1(\cdot) \in U_1} \max_{w_1(\cdot) \in W_1} \left\{ \sum_{t \in \Delta_1} (\|Qx(t | x_1, u_1(\cdot), w_1(\cdot))\|_\infty + \right. \quad (4)$$

$$\left. + \|Ru_1(t)\|_\infty) + \|Px(T | x_1, u_1(\cdot), w_1(\cdot))\|_\infty \right\},$$

при условии $x(T | x_1, u_1(\cdot | x_1), w_1(\cdot)) \in X_T \quad \forall w_1(\cdot) \in W_1$. Если задача (4) не имеет решения, полагаем $J_1(x_1) = +\infty$.

Предположение 2. Параметры задачи таковы, что непусто множество $X_1 = \{x_1 : J_1(x_1) < +\infty\}$ и $\exists u_0(\cdot | x_0)$, обеспечивающее включение $X(T_1 | x_0, u_0(\cdot | x_0)) \subseteq X_1$.

В предположении 2 стратегия $\pi_1 = \{u_0(\cdot | x_0); u_1^0(\cdot | x_1), x_1 \in X(T_1 | x_0, u_0(\cdot | x_0))\}$ допустима. Тогда оптимальная начальная программа $u_0^0(\cdot | x_0)$ на промежутке Δ_0 существует и является решением минимаксной задачи

$$V(\pi_1^0) = \min_{u_0(\cdot) \in U_0} \max_{w_0(\cdot) \in W_0} \left\{ \sum_{t \in \Delta_0} (\|Qx(t)\|_\infty + \|Ru_0(t)\|_\infty) + J_1(x(T_1)) \right\}, \quad (5)$$

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu_0(t) + Mw_0(t), \quad x(0) = x_0, \quad u_0(t) \in U_0, \quad t \in \Delta_0,$$

$$x(T_1) \in X_1 \quad \forall w_0(\cdot) \in W_0.$$

Определение 2. Стратегия управления (3) оптимальна, если $u_0^0(\cdot | x_0)$ — решение задачи (5), а $u_1^0(\cdot | x_1)$ — решения задач (4) для состояний $x_1 \in X(T_1 | x_0, u_0^0(\cdot | x_0))$.

Для начала процесса управления необходимо знать лишь оптимальную начальную программу $u_0^0(\cdot | x_0)$, а оптимальные гарантирующие программы $u_1^0(\cdot | x_1)$ для промежутка Δ_1 строятся в процессе управления.

Перепишем задачу (5) в эквивалентном виде

$$V(\pi_1^0) = \min_{u_0, \alpha} \max_{w_0} \left\{ \sum_{t \in \Delta_0} (\|Qx(t)\|_\infty + \|Ru_0(t)\|_\infty) + \alpha \right\}, \quad (6)$$

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu_0(t) + Mw_0(t), \quad x(0) = x_0, \quad u_0(t) \in U_0, \quad t \in \Delta_0,$$

$$x(T_1) \in X_1(\alpha) = \{x_1 \in X_1 : J_1(x_1) \leq \alpha\} \quad \forall w(\cdot) \in W_0.$$

Множество $X_1(\alpha)$ для дискретной системы (1) — многогранник. Пусть $p_i \in \check{Y}^n$, $i = 1, 2, \dots, m_1$, $\|p_i\| = 1$, — нормали к граням $X_1(\alpha)$ (или граням аппроксимирующего его многогранника, см. [3]) и пусть

$$g_{p_i}(\alpha) = \max_{x_1 \in X_1(\alpha)} p_i \cdot x_1. \quad (7)$$

Задача (7) является задачей линейного программирования, зависящей от параметра α . Функция $g_{p_i}(\alpha)$ — вогнутая, кусочно-линейная, и для нее с использованием результатов параметрического линейного программирования может быть найдено разбиение отрезка $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ допустимых значений параметра на области линейности функции. Будем считать, что указанное разбиение найдено для всех p_i , $i = 1, \dots, m_1$, после чего построено обобщающее разбиение $\alpha_{\min} = \alpha^1 < \dots < \alpha^{K+1} = \alpha_{\max}$ и найдены значения

$$q_i^k = \frac{dg_{p_i}(\alpha^k + 0)}{d\alpha}, \quad i = 1, \dots, m_1, \quad k = 1, \dots, K, \quad \text{причем для каждого } i$$

имеют место неравенства $q_i^1 > q_i^2 > \dots > q_i^{K_i} \geq 0$.

Пусть $Q_1 \in \check{Y}^{m_1 \times K}$ — матрица, элементами которой являются найденные q_i^k , $P_1 \in \check{Y}^{m_1 \times n}$ — матрица, строками которой являются p_i , $i = 1, \dots, m_1$, $g_1 = (g_{p_i}(\alpha_{\min}), i = 1, \dots, m_1)$. Тогда

$$X_1(\alpha) = \{x \in \check{Y}^n : P_1 x \leq g_1 + Q_1 \omega\},$$

где вектор $\omega \in \check{Y}^K$ построен по правилам:

$$\begin{cases} \omega_k = \alpha^{k+1} - \alpha^k, k = 1, \dots, K(\alpha) - 1, \\ \omega_{K(\alpha)} = \alpha - \alpha^{K(\alpha)}, \\ \omega_k = 0, k = K(\alpha) + 1, \dots, K, \end{cases}$$

$K(\alpha): \alpha \in [\alpha^{K(\alpha)}, \alpha^{K(\alpha)+1})$.

Таким образом, получаем задачу

$$V(\pi_1^0) = \min_{u_0, \omega} \max_{w_0} \left\{ \sum_{t \in \Delta_0} (\|Qx(t)\|_\infty + \|Ru_0(t)\|_\infty) + \sum_{k=1}^K \omega_k \right\} + \alpha^1, \quad (8)$$

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu_0(t) + Mw_0(t), \quad x(0) = x_0, \quad u_0(t) \in U_0, \quad t \in \Delta_0,$$

$$P_1 x(T_1) - Q_1 \omega \leq g_1 \quad \forall w(\cdot) \in W_0, \quad 0 \leq \omega_k \leq \alpha^{k+1} - \alpha^k, \quad k = 1, \dots, K.$$

Она может быть далее сведена, как в [2,3], к задаче линейного для эффективного численного решения.

Наконец, приведем алгоритм MPC, основанный на оптимальных стратегиях π_1^0 . Прогнозирующей задачей называется задача (5) (или ее эквивалент (8)), в которой начальное состояние совпадает с текущим (в момент времени τ) состоянием объекта управления $x^*(\tau)$, т.е. начальное условие заменяется на $x(0) = x^*(\tau)$.

Алгоритм MPC состоит в следующем:

- 1) в момент времени τ измерить $x^*(\tau)$ и найти $u_0^0(t|\tau)$, $t \in \Delta_0$;
- 2) применить к объекту управляющее воздействие $u_{MPC}(\tau) = u_0^0(0|\tau)$;
- 3) перейти к следующему моменту ($\tau := \tau + 1$) и вернуться к шагу 1.

Поскольку на шаге 1 алгоритма решается задача линейного программирования (8), в отличие от работ [1, 2], управление по прогнозирующей модели на основе стратегий управления с моментом замыкания удается применять для процессов с быстро изменяющейся динамикой.

Библиографические ссылки

1. Vemporad, A. Min-max control of constrained uncertain discrete-time linear systems / A.Vemporad, F. Borrelli, M. Morari // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2003. – Vol.48, №9. – P.1600-1606.
2. Балашевич, Н.В. Построение оптимальных обратных связей по математическим моделям с неопределенностью / Н.В.Балашевич, Р. Габасов Р., Ф.М. Кириллова // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 2004. – Т. 44, № 2. – С. 265-286.
3. Дмитрук, Н.М. Оптимальная стратегия с одним моментом замыкания в линейной задаче оптимального гарантированного управления / Н.М. Дмитрук // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 2018. – Т. 58, № 5. – С. 664-681.
4. Kostyukova, O. Robust optimal feedback for terminal linear-quadratic control problems under disturbances / O. Kostyukova, E. Kostina // Mathematical programming. – 2006. – Vol. 107, № 1-2. – P. 131-153.

РАЗРАБОТКА И РАЗВЁРТЫВАНИЕ СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ИГРЫ НА МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

А. А. Михайлов

Белорусский государственный университет, г. Минск;

anthony.mikhaylov@gmail.com

науч. рук. – Н.А. Карпович, ст. преп.

В работе рассматривается проблема разработки серверной части игр, способных адаптироваться к резким изменениям в нагрузке. Для решения данной проблемы предлагается использовать микросервисную архитектуру в силу одного из её преимуществ – возможности динамического масштабирования отдельных компонент. Для этого каждая из компонент контейнеризируется и впоследствии оркестрируется платформами Kubernetes и Agones. Для создания динамически масштабируемого организатора игр используется платформа OpenMatch. В ходе работы была спроектирована архитектура серверной части проекта Medieval.IO. Все компоненты разработаны на языке программирования Golang. Для интеграции с клиентом компоненты были развёрнуты на облачной платформе Google Cloud Platform.

Ключевые слова: микросервис, Golang, Kubernetes, Docker, Agones, OpenMatch.

ВВЕДЕНИЕ

У многих современных многопользовательских и онлайн игр достаточно часто встречаются одни и те же проблемы: проблемы с реагированием на возрастающий поток игроков, приводящий к нехватке или количества доступных серверов, или их мощностей и продолжительные обслуживания при обновлении версии игр или исправлении каких-то проблем и багов, при которых игроки не имеют доступа к игре. Особенно критичной данная проблема стала во время пандемии COVID-19, которая привела к увеличению игроков в многопользовательских играх [1]. В данной работе рассматривается один из возможных вариантов решения вышеуказанной проблемы.

АРХИТЕКТУРА СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ

Пример архитектуры серверной части игры на микросервисной архитектуре можно увидеть на рис.1. Компонента UsersService отвечает за хранение данных пользователей и предметов внутриигрового магазина. Компонента PaymentService занимается проведением транзакций обмена фиатных денег на внутриигровую валюту. Компонента Matchmaker отвечает за организацию сессий игр для клиентов, желающих принять участие

в игре. Компонента GameService занимается вычислениями состояний активных сессий игр на основании сообщений, поступающих от клиентов, и их последующей рассылкой клиентам.

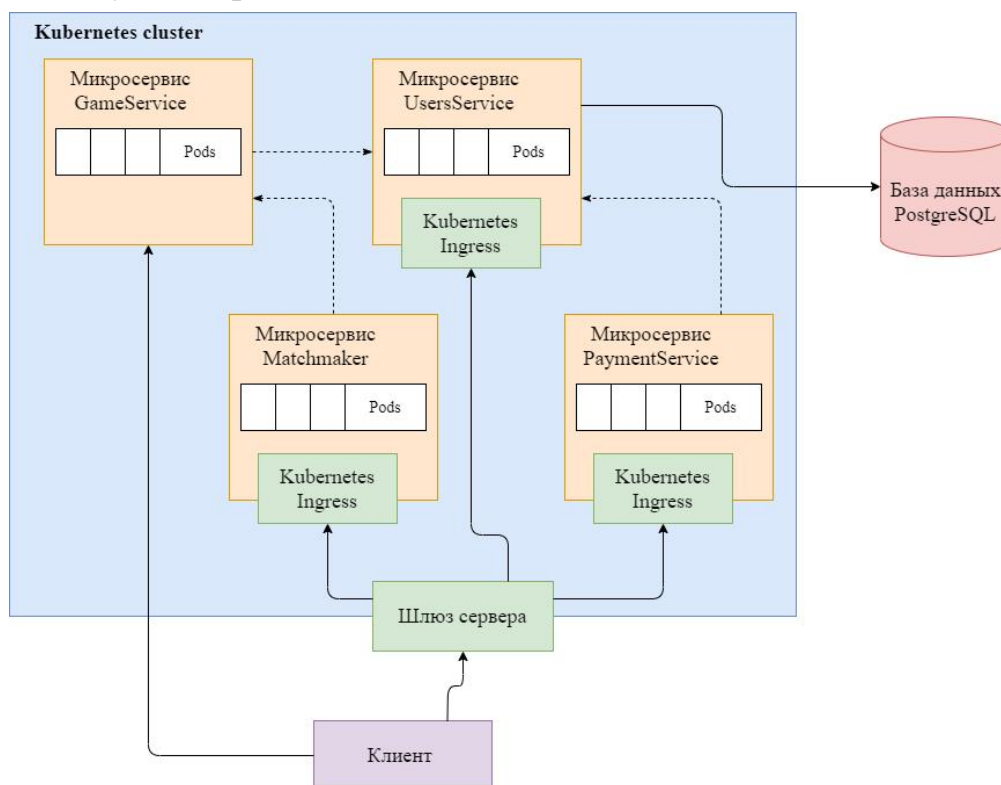


Рис. 1. Архитектура серверной части

Для динамического масштабирования компонент UserService и PaymentService достаточно использовать ресурс платформы Kubernetes HorizontalPodAutoscaler [2], который будет выполнять масштабирование в зависимости от процента использования выделенного процессорного времени для экземпляров данных компонент. Однако для компонент GameService и Matchmaker данное решение не подойдет в силу проблем с маршрутизацией запросов и сообщений и передачей информации между экземплярами компонент.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ AGONES

Agones [3] (от греч. агῶν – «соревнование», «состязание») – это платформа с открытым исходным кодом для развёртывания, хостинга, масштабирования и оркестрации игровых серверов для крупномасштабных многопользовательских игр, построенная на современном стандарте облачной индустрии – платформе Kubernetes.

Жизненный цикл экземпляра компоненты GameService можно увидеть на рис. 2.

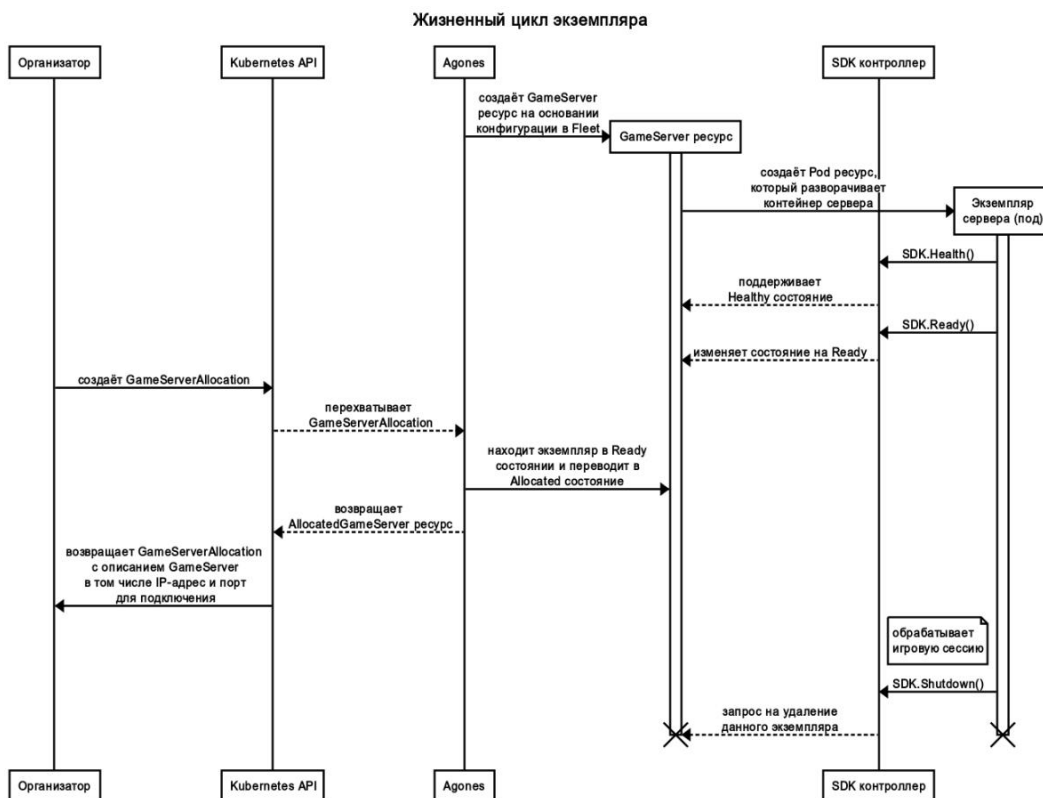


Рис. 2. Жизненный цикл экземпляра GameService

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ OPENMATCH

OpenMatch [4] – это платформа с открытым исходным кодом, предназначенная для упрощения создания масштабируемого организатора игр. Она предоставляет инфраструктуру, которая позволяет решить такие проблемы как обработка большого потока игроков и эффективный и быстрый поиск игроков в очереди на основе поставленных критериев. Данная платформа, как и Agones, использует Kubernetes как платформу для развёртывания и поддержки инфраструктуры организатора игр.

На основе данной платформы был разработан компонент Matchmaker, которую можно увидеть на рис. 3. Компоненты FrontendService, BackendService, QueryService, Redis предоставляет OpenMatch. Компоненты Matchmaker и MatchFunction предоставляются разработчиком.

ТЕСТИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ

Разработанный сервер был развёрнут на облачной платформе Google Cloud Platform. Для проверки динамического масштабирования сервера были созданы 500 тестовых клиентов, которые посылали запрос на участие в игре, подключались к выделенному серверу игры и выполняли движения вперёд и назад. Изначально был развёрнут всего 1 экземпляр компонента

Matchmaker и 10 экземпляров компонента GameService с размером сессии игры в 20 участников. После запуска тестовых клиентов сервер прошёл через 2 этапа масштабирования и создал 25 дополнительных экземпляров – 15 для обработки созданных сессий игр и 10 в качестве буфера. Среднее время ожидания составило 30 секунд, несмотря на то что полученная нагрузка была в 2.5 раза больше ожидаемой.

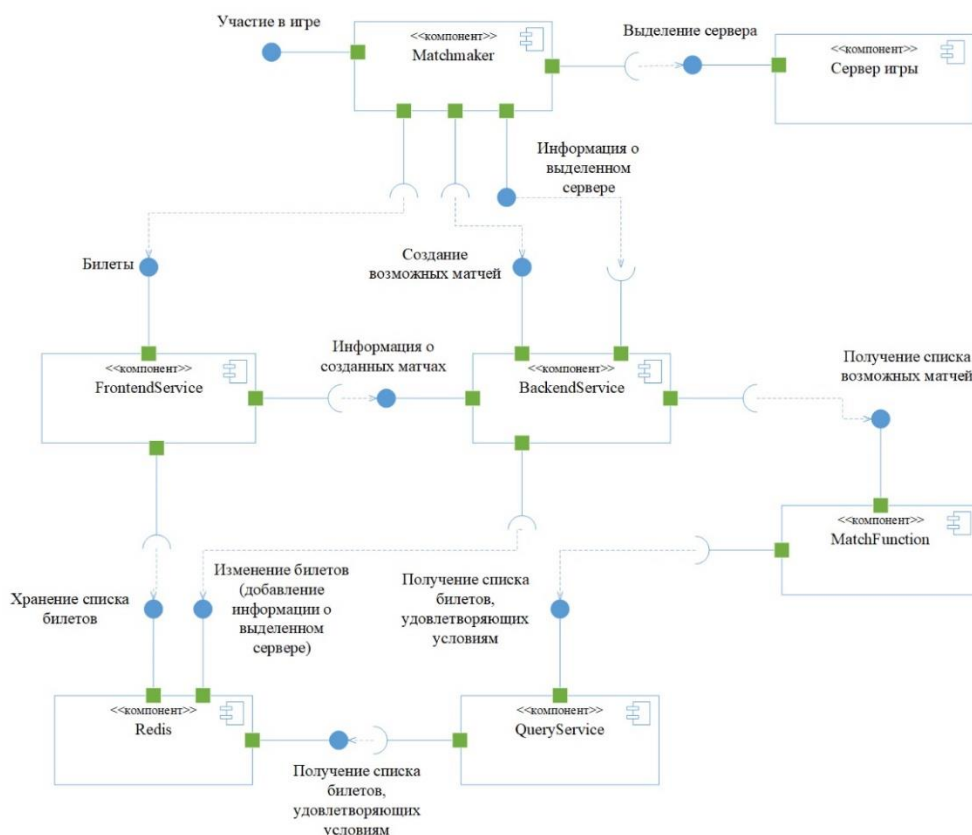


Рис. 3. Компонент Matchmaker

Библиографические ссылки

1. Global Gaming Study: More Gamers Spending More Money in COVID lockdowns – Which Publishers Will Benefit? L. Jaeger, N. Jarb, A. David. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.simon-kucher.com/nl/blog/new-global-gaming-industry-study-gamers-spend-more-money-and-time-increase-social-contact> – Дата доступа: 01.06.2021.
2. Horizontal Pod Autoscaler [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kubernetes.io/docs/tasks/run-application/horizontal-pod-autoscale/> – Дата доступа: 01.06.2021.
3. Agones [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agones.dev/site/> – Дата доступа: 01.06.2021.
4. OpenMatch [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://open-match.dev/site/> – Дата доступа: 01.06.2021.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ СТАНОВЛЕНИЯ БГУ

В.В. Модзолевский, Ю.В. Тамкович, К.Г. Арабчик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

vmodzolevskii@gmail.com, yuratomkovich@gmail.com,

fpm.arabchik@bsu.by

науч. рук. – О. Г. Казанцева, ст. преп.

Современные технологии позволяют создать электронные интерактивные карты, которые не только предоставляют пользователю информацию, привязанную к географическому контексту, но также позволяют взаимодействовать с представленной информацией. Интерактивная карта БГУ разрабатывается в рамках совместного проекта на историческом факультете и факультете прикладной математики и информатики.

Ключевые слова: интерактивная карта, история БГУ.

ВВЕДЕНИЕ

Интерактивная карта БГУ – это индексированная коллекция фотографий и нанесенных на карту мест, относящихся к истории Белорусского государственного университета, с момента его образования до текущих дней. Интерактивная карта БГУ разрабатывается как web-приложение, а также как приложение для мобильных устройств, которое предоставляет пользователю не только картографическую информацию, но также исторические фотографии и исторические факты о зданиях Белорусского государственного университета.

ПОИСК МАТЕРИАЛОВ

Центральное место в любой информационной системе занимает содержимое. Интерактивная карта становления БГУ – это визуальная информационная система, которая должна предоставлять пользователю как картографическую информацию, так фото и текстовые материалы, связанные с университетом и его историей.

Можно сказать, что «карта» Белорусского государственного университета межвоенного времени была слабо исследована и как единое целое она не существовала (если не считать попытки В. Н. Темушева, сделанной много лет назад).

При реконструкции этой «карты» мы столкнулись с комплексом проблем, которые лежали в области исследования истории, как города, так и БГУ. Необходимо было отыскать старые адреса корпусов БГУ, определить какие подразделения размещались в этих зданиях, местоположение этих зданий, а также найти визуальные изображения того времени.

Для решения этих задач мы в первую очередь воспользовались документами фонда № 205 Национального архива Беларуси, в которых были найдены довоенные адреса корпусов БГУ, некоторая информация об их истории, о подразделениях, которые занимали их помещения [ф.205, о.1, д. 182, 238, 446, 741, 751, 841]. Большую помощь в работе нам оказал О.А. Яновский, один из составителей сборников документов по истории БГУ «Памяць і слава», которые также были использованы при подготовке карты [1].

Не забыли и про периодическую печать – активно изучали газеты Белорусского государственного университета 1920-1940-ых годов [2]. Были использованы в работе и различные журналы той эпохи: «Асвета», «Белорусская мэдычная думка», «Белорусский государственный санитарно-бактериологический институт» [3, 4, 5]. Важным источником информации являются телефонные справочники 1928, 1935, 1936 гг. [6, 7].

Также мы воспользовались большим корпусом краеведческой литературы, работами Л.В. Морякова, З.В. Шибеки, В.Г. Воложинского, В.И. Кириченко, В.А. Корбута [8, 9, 10, 11, 12]. Общались, обращались за советами и материалами к известным минским краеведам: Павлу Ростовцеву, Дмитрию Наумову, Вадиму Зеленкову, Владимиру Садовскому, Владимиру Денисову, Ростиславу Боровому. За время работы мы посетили и воспользовались фондами музея истории медицины Беларуси и музея истории БГУ.

Были использованы и многочисленные материалы на интернет-сайтах: bsmu.by, time.bsu.by, times.bntu.by, 2gkb.by, 3gkb.by, gymnl2.minsk.edu.by, а также фотоматериал из различных краеведческих групп в социальных сетях.

Несмотря на то, что было локализовано более 30 объектов университета межвоенной поры, работу необходимо продолжать. К сожалению, минскоеведение, несмотря на наличие хороших работ, находится на недостаточно высоком уровне – из-за этого пока проблематично установить локализацию ряда объектов, довоенные адреса, которых мы знаем. Для установления их местонахождения и истории необходима дополнительная работа в ряде архивов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА

Разрабатываемое приложение создается на основе клиент-серверной архитектуры и основывается на некоммерческом веб-картографическом проекте OpenStreetMap, распространяемом на условиях свободной лицензии Open Database License. Для веб-клиента была использована библиотека leaflet.js.

Основные требования, которые к реализации карты:

1. Возможность поддержки меток различного содержания и вида, а именно: факультеты, общежития, административные здания и т.д.
2. Возможность разбиения меток на слои карты.
3. Возможность кластеризации меток, то есть их свертывание при отдалении, в том числе и при свертывании слоя.
4. Возможность в будущем импортировать собственные исторические карты.



Рис. - Главная страница

Серверная часть представлена сервером приложений и сервером баз данных. Запрашиваемые данные на клиента передаются в json-формате:

```
{  
  "marks" : [  
    {  
      "lat": 53.89392,  
      "lng": 27.546845,  
      "name": "Факультет прикладной математики и информатики",  
      "address": "г.Минск, пр-т Независимости, 4",  
      "year": 1970,  
      "image": "img/famcs.jpg",  
      "descriptions": "Расположен в главном корпусе БГУ",  
      "href": "page/fpmi.html"  
    }  
  ]  
}
```

1
}

На рисунку представлена главная страница проекта, с метками, обозначающими месторасположение факультетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа посвящена первому этапу работы над интерактивной картой БГУ. Процесс поиска и сбора исторических сведений об объектах университета продолжается. Также ведется активная работа над iOS и веб-приложением, в дальнейшем планируется создать также Android приложение. Интерактивная карта обеспечивает визуализацию положения исторических зданий и дает краткое описание объектов.

Библиографические ссылки

1. Памяць і слава: Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, 1921—1941 / [складальнікі: С. М. Ходзін, М. Ф. Шумейка, А. А. Яноўскі. - Мінск : БДУ, 2006. - 383 с., [28] л. іл. - (Memoria et Gloria)
2. Газеты Белорусского государственного университета 1920-40-х годов <https://elib.bsu.by/handle/123456789/183026>
3. Асвета: часопіс Народнага камісарыяту асветы і Саюзу працаўнікоў асветы. - Мінск : Народны камісарыят асветы БССР, №8. 1927
4. Беларуская мэдычная думка: часопіс / рэдкалегія: М. І. Барсукоў [і інш.]. - Менск : Народны камісарыят аховы здароўя БССР, №1. 1929
5. Белорусский государственный санитарно-бактериологический институт / составил Б. Я. Эльберт. ... за 1926—27 год. — 1927. — 78, [1] с.
6. Спіс абанэнтаў Мінскай аўтаматычнай тэлефоннай станцыі на 1936 год. - Мн., 1936. - 254 с.; Сьпіс абанэнтаў гарадзкіх тэлефонных сетак Менскай Акругі сувязі / СССР, Народны камісарыят пошт і тэлеграфу. ... 1928. — 1928. — 126 с.
7. Уся БССР: Карот. адрас.-давед. кн., 1935: [У 2 ч.]. - Мн. : Выд. давед.-інфарм. канторы бел. кіраўн. сувязі, 1935. - XLYIII, 239 с.
8. Галоўная вуліца Мінска, 1880—1940 гг. / Леанід Маракоў. Кн. 1. — 2012. — 259, [1] с.
9. Минск. Старый и новый / [автор-составитель В. Г. Воложинский. - Минск : Харвест, печ. 2009 (макет 2010). - 271 с.
10. Минск сто гадоў таму / З. В. Шыбека. - Мінск : Беларусь, 2007. - 303, [1] с.
11. Мінск. Гісторыя пасляваеннага аднаўлення, 1944-1952 / В.І.Кірычэнка. - Мн. : Беларусь, 2004. - 280, [2] с.
12. Мінск. Спадчына старога горада: 1067—1917 / Віктар Корбут, Дзмітрый Ласько. - Мінск : Беларусь, 2016. - 413, [2] с.

ДЕМПФИРОВАНИЕ МНОГОШАГОВЫХ МЕТОДОВ ТИПА АДАМСА С РАСШИРЕННЫМ ИНТЕРВАЛОМ УСТОЙЧИВОСТИ

А. В. Мойса

Белорусский государственный университет, г. Минск;

moysa@bsu.by;

науч. рук. – Б.В. Фалейчик, канд. физ.-мат. наук, доц.

В статье развивается подход к построению многошаговых методов с расширенным интервалом устойчивости, предложенный в [1]. В частности, описывается способ демпфирования таких методов для случая порядка два и выше. Приводятся примеры областей устойчивости и коэффициенты полученных методов.

Ключевые слова: численные методы; задача Коши; многошаговые методы; демпфирование; методы Адамса; расширенный интервал устойчивости; область устойчивости; кривая локуса корней.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим задачу Коши

$$y' = f(t, y), \quad y(t_0) = y_0, \quad y: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}^n, \quad f: \mathbf{R} \times \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n. \quad (1)$$

В работе [1] были рассмотрены методы вида

$$y_{m+k} = y_{m+k-1} + \tau(\beta_0 f_m + \mathbf{K} + \beta_{k-1} f_{m+k-1}), \quad (2)$$

обладающие максимальной длиной интервала устойчивости среди всех методов такого типа. У этих методов (при достаточно большом k) есть особенность: их кривые локуса корней $\mu(e^{i\varphi})$ [2, стр. 274] касаются вещественной оси в нескольких точках.

Демпфированием метода численного решения задачи Коши (1) в литературе [2, стр. 44-45] называется качественное изменение метода с целью увеличения расстояния между кривой локуса корней $\mu(e^{i\varphi})$ (границей области устойчивости) и вещественной осью для $0 < \varphi < \pi$. Это необходимо для устойчивости метода в случае незначительного отклонения собственных значений матрицы Якоби $\partial f / \partial y$ от вещественной оси. При построении демпфированного метода необходимо обеспечить минимальное изменение длины интервала устойчивости при приемлемом равномерном отдалении кривой локуса корней от вещественной оси.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

В работе [1] показано, что мнимая составляющая кривой локуса корней метода (2) имеет вид

$$\operatorname{Im} \mu_\beta(e^{i\varphi}) = Q(\varphi) \sin(\varphi), \quad Q(\varphi) = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} a_j \cos j\varphi}{\sum_{j=0}^{k-1} \delta_j \cos j\varphi},$$

где $a_j, \delta_j, j = \overline{0, k-1}$ – коэффициенты, однозначно определяемые через $\beta_j, j = \overline{0, k-1}$.

Для первого порядка достаточно определить $\hat{Q}(\varphi)$ демпфированного метода как

$$\hat{Q}(\varphi) = \left(\sum_{j=0}^{k-1} \hat{a}_j \cos j\varphi \right) / \left(\sum_{j=0}^{k-1} \hat{\delta}_j \cos j\varphi \right) = C(Q(\varphi) + \varepsilon), \quad (3)$$

где ε – параметр, определяющий сдвиг от вещественной оси, а C – константа масштабирования, определяемая из условия порядка $\sum_{j=0}^{k-1} \hat{\beta}_j = 1$.

Методы порядка $p \geq 2$ имеют следующие условия на коэффициенты β :

$$\begin{cases} \sum_{j=0}^{k-1} \beta_j = 1, \\ \sum_{j=0}^{k-1} (1-k+j) \beta_j = \frac{1}{2}, \\ \text{M} \\ \sum_{j=0}^{k-1} (1-k+j)^{q-1} \beta_j = \frac{1}{q}, \quad 2 \leq q \leq p. \end{cases} \quad (4)$$

Как видно из (4), методы порядка выше 1 имеют больше одного условия на коэффициенты β , следовательно, подход (3) работать не будет. В связи с этим перейдем к более общему случаю.

$$\hat{Q}(\varphi) = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} \hat{a}_j \cos j\varphi}{\sum_{j=0}^{k-1} \hat{\delta}_j \cos j\varphi} = C \left(Q(\varphi) + \varepsilon + \frac{\sum_{j=0}^{k-1} \hat{a}_j \cos j\varphi}{\sum_{j=0}^{k-1} \hat{\delta}_j \cos j\varphi} \right).$$

Здесь \hat{a}_j – константы, $p-1$ из которых определяется из условий порядка (4), а остальные задаются вручную. В процессе изучения поведения функции $\hat{Q}(\varphi)$ при различных \hat{a} выяснилось, что для получения требуемого

результата достаточно использовать следующий эвристический алгоритм:

1. Положим $m=0$;
2. Фиксируем $\lambda_j = 0, j = \overline{m+p, k-1}$;
3. Находим $\lambda_j, j = \overline{m, m+p-1}$ из условий порядка (4);
4. Проверяем область устойчивости полученного метода (2), в случае удовлетворительного результата выходим из алгоритма, в противном случае переходим к шагу 5;
5. Анализируем влияние компоненты λ_m и вручную подбираем ее значение с целью приведения области устойчивости к более подходящему виду;
6. Полагаем $m=m+1$ и переходим к шагу 2.

ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕННЫХ МЕТОДОВ

Приведем примеры демпфированных вариантов явного метода типа Адамса с расширенным интервалом устойчивости при различных m , получаемых на шаге 4 алгоритма выше. Рассмотрим метод с расширенным интервалом устойчивости при $p=2, k=15$ (далее – исходный метод). Для его демпфирования был выбран параметр $\varepsilon=0.02$. Графики областей устойчивости методов изображены на рисунке. Коэффициенты β , а также вспомогательные коэффициенты λ демпфированных методов представлены в таблице.

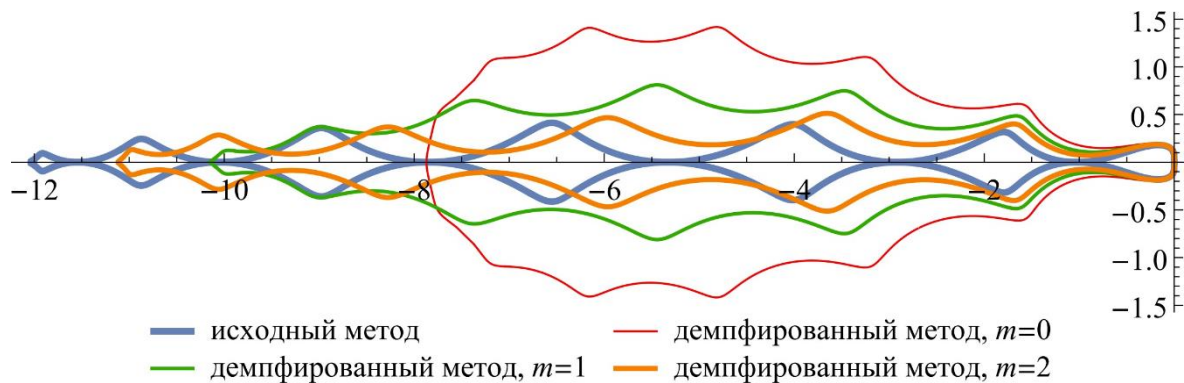


Рис. Области устойчивости метода с расширенным интервалом устойчивости и его демпфированных вариантов при $p=2, k=15$

**Коэффициенты метода с расширенным интервалом устойчивости
и его демпфированных вариантов при $p=2, k=15$**

	исходный метод	демпфированный метод, $m=0$	демпфированный метод, $m=1$	демпфированный метод, $m=2$
β	(-0,01092619963)	(-0.00967090274)	(-0,00998695267)	(-0,01019757945)
	-0,03134601684	-0.02785983648	-0,02877030984	-0,02937708128
	-0,04757243904	-0.04253711696	-0,04392725117	-0,04485368545
	-0,05715132196	-0.05145504699	-0,05313662362	-0,05425728535
	-0,05811871145	-0.05277568861	-0,05450042446	-0,05564984902
	-0,0491542153	-0.04521895988	-0,04669673807	-0,04768158136
	-0,02969457028	-0.02817642197	-0,02909724151	-0,029710908
	0	-0.0017829772	-0,00184124579	-0,00188007802
	0,038831361138	0.033058868484	0,03413924881	0,034859252213
	0,084902735515	0.074704749383	0,07714613789	0,078773164952
	0,135610326726	0.120843796421	0,12479303202	0,12742494135
	0,187782915004	0.168620226608	0,1741308198	0,177803272679
	0,23786219522	0.214794949587	0,22181455577	0,2317050022
	0,282114151544	0.255938451712	0,280642897709	0,286682139789
	(0,31685978936)	(0.39151590864)	(0,355290095136)	(0,33636027472)
λ	нет	(0,116961191028)	(0,045	(0,022
		0	0,035980595514	0,025
		0	0	0,011240297757
		0	0	0
		М	М	М
		(0	(0	(0

Библиографические ссылки

1. V. Repnikov, B. Faleichik, A. Moisa Stabilized explicit Adams-type methods // Journal of the Belarusian state university. Mathematics and Informatics. В печати.
2. Хайрэр Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений: Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. Москва: Мир, 1999.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ НОВЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВИЧ-1

Е. И. Мордань

Белорусский государственный университет, г. Минск;

yauhenmardan@gmail.com

науч. рук. – А.М. Андрианов, д-р. хим. наук

Работа посвящена разработке алгоритмов генерации новых потенциальных ингибиторов белка gp120 ВИЧ-1. Описывается процесс их создания, вариации и использования. В качестве методов исследования выбраны методы машинного обучения и молекулярного моделирования.

Ключевые слова: машинное обучение, нейронные сети, автоэнкодеры, LSTM сети, ингибиторы проникновения ВИЧ-1, молекулярное моделирование

Вирус иммунодефицита человека типа 1 (ВИЧ-1) поражает иммунные клетки человека, ослабляет иммунную систему и подвергает риску заражения другими инфекциями. Первые пациенты, вызывавшие подозрения на заражение ВИЧ-1, были зарегистрированы в Нью-Йорке и Лос-Анджелесе в 1980х годах прошлого столетия. С этого момента более 70 миллионов человек заразились ВИЧ инфекцией. Заражение ВИЧ происходит при попадании биологической жидкости зараженного человека в кровь здорового. В процессе заражения за механизм присоединения ВИЧ к клетке отвечает белок gp120 оболочки вируса. Этот белок связывается с рецептором CD-4 здоровой клетки. В настоящее время отсутствуют лицензированные лекарственные препараты, терапевтическое действие которых основано на блокаде участка белка gp120, ответственного за связывание вируса с клеточным рецептором CD4. В связи с этим возникает задача поиска ингибиторов проникновения – веществ, задерживающих или подавляющих течение физико-химических или физиологических процессов при проникновении ВИЧ-1 в клетку-мишень.

Предварительным или иногда альтернативным экспериментальному подходу к разработке новых соединений является метод компьютерной генерации. Он позволяет преодолеть физические и ресурсные ограничения высокотратного экспериментального подхода. Некоторые компьютерные методы основаны на использовании нейронных сетей [1][2], в том числе алгоритмы, разработанные в данной работе.

В работе разработаны два алгоритма генерации новых потенциальных ингибиторов ВИЧ-1: алгоритмы без и с заданием порогового значения энергии связывания белка gp120 с потенциальным ингибитором ВИЧ-1. Идея алгоритма без порогового значения энергии связывания (алгоритм 1) следующая:

1. Исходное соединение – потенциальный ингибитор белка gp120, представленный в некотором формате, кодируется в латентный вектор;
2. В латентный вектор вносится некоторый шум;
3. Далее латентный вектор с шумом декодируется и получается новое соединение, отличное от исходной молекулы.

Основное отличие алгоритма с энергией связывания (алгоритм 2) заключается в том, что на шаге 2 задается некоторая пороговая энергия, вместе с которой латентный вектор декодируется в новое соединение. В качестве формата представления соединений в силу своей простоты был использован формат SMILES [3]. За кодирование-декодирование соединений в формате SMILES отвечает специальная модель нейронной сети – автоэнкодер [4]. Модель для алгоритма 2 представлена на рисунке 1. Мо-

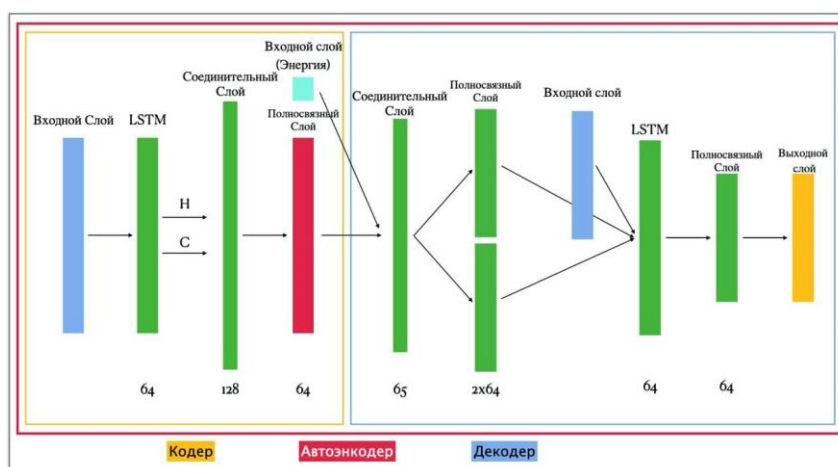


Рис. 1. Модель автоэнкодера с пороговой величиной энергии

дель же для алгоритма 1 отличается лишь отсутствием входного слоя для энергии (голубой цвет) и соединительного слоя (зеленый цвет) после полносвязного латентного слоя (красный цвет). Для полноценной работы двух алгоритмов после обучения соответствующих им моделей требуется их разбиение на кодер (желтая рамка) и декодер (синяя рамка). Кодер и декодер используются для кодирования исходного соединения и декодирования в новое соединение на шагах 1 и 3 соответственно. Данные модели автоэнкодеров используют в своей работе LSTM слои [5]. Такие слои помогают запомнить долгосрочный контекст SMILES-формулы соединений и имеют преимущество в запоминании по сравнению с рекуррентными сетями и с сетями прямого распространения.

Кроме двух изложенных выше алгоритмов, для каждого из них был разработан особый режим генерации новых потенциальных ингибиторов. Такой режим не требует исходного соединения, задаваемого на шаге 1. Вместо этого латентный вектор сразу берется из некоторого распределения X и, если речь идет об алгоритме с энергией связывания, вместе с

пороговой энергией подается на декодер, в результате имея новое соединение. Для получения представления о распределении латентных векторов X была проанализирована их выборка, в результате чего было замечено, что некоторые компоненты латентных векторов либо всегда имеют нулевое значение, либо имеют распределение, напоминающее гамма-распределение с некоторыми параметрами. Таким образом, для получения нового латентного вектора из неизвестного распределения X , для всех ненулевых компонент берется значение из соответствующего им гамма-распределения, а для нулевых компонент – значение 0. Минусами такого режима работы является по-прежнему неизвестное, лишь приближенное распределение X . Для контроля данного распределения может быть использован дискриминатор. Однако в качестве плюсов стоит отметить почти бесконечное потенциальное количество новых латентных векторов, а, следовательно, и новых соединений, а также повышенную скорость работы ввиду отсутствия кодировщика.

В результате работы алгоритмов 1 и 2 были получены соответственно 1560 и 1662 новых уникальных соединения – потенциальных ингибиторов белка gp120 ВИЧ-1. Для каждого исходного соединения были идентифицированы три новых соединения. Далее для новых соединений был проведен молекулярный докинг и оценена энергия их связывания с белком gp120. Следует отметить, что в среднем значения энергии связывания для новых соединений лучше, чем для исходных молекул. Это же можно сказать и о значениях медиан. Всего 1090 из 1560 соединений алгоритма 1 и 1211 из 1692 соединений алгоритма проявляют энергию связывания с белком gp120 ниже, чем у исходных соединений.

Таким образом, в данной работе нами была поставлена задача по разработке алгоритма генерации новых потенциальных ингибиторов белка gp120 ВИЧ-1, блокирующих процесс прикрепления вируса к клетке хозяина. Разработка алгоритма идентификации проводилась с помощью методов машинного обучения и молекулярного моделирования. В рамках работы были разработаны два алгоритма генерации: не использующий и использующий данные о пороговой величине энергии связывания. Также был предложен вариант работы этих алгоритмов с генерацией ингибиторов из шума. В результате применения алгоритмов для генерации новых потенциальных ингибиторов проникновения ВИЧ-1 было идентифицировано более 3000 новых соединений. Для их первичного анализа был проведен молекулярный докинг и оценена энергия связывания сгенерированных соединений с белком gp120. В дальнейшем некоторые из полученных соединений могут быть более детально проанализированы и, в конечном итоге,

синтезированы и протестированы на противовирусную активность, разработанные алгоритмы могут быть использованы для поиска новых потенциальных ингибиторов проникновения ВИЧ-1.

Библиографические ссылки

1. Esben Jannik Bjerrum, Boris Sattarov. Improving Chemical Autoencoder Latent Space and Molecular De-novo Generation Diversity with Heteroencoders // Journal of Biomolecules 2018, 8(4), 131. arXiv: 1806.09300.
2. www.cheminformania.com - Chemical blog [Electronic resource] // - Mode of access: <https://www.cheminformania.com/master-your-molecule-generator-seq2seq-rnnmodels-with-smiles-in-keras/>. - Date of access: 5.04.2021.
3. Чумаков А.А., Слизов Ю.Г. Система SMILES-кодирования молекулярных структур и её применение для решения научно-исследовательских задач // Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2017.
4. www.paperspace.com - Blog [Electronic resource] // - Mode of access: <https://blog.paperspace.com/autoencoder-image-compression-keras/>. - Date of access: 03.05.2021
5. neurohive.io - Neural networks website [Electronic resource] // - Mode of access: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/lstm-nejronnaja-set/>. - Date of access: 03.12.2020.

РАСПОЗНАВАНИЕ ПАТОЛОГИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. И. Наумович

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
andrew.naumovich@yandex.ru;
науч. рук. – В. В. Краснопрошин, д-р тех. наук, проф.*

В работе рассматривается проблема распознавания патологий грудной клетки. Предлагается подход, основанный на нейросетевой технологии обработки данных. Разработан алгоритм решения задачи и на его основе реализована соответствующая программная система.

ВВЕДЕНИЕ

Эпидемиологическая ситуация, возникшая в результате пандемии, выявила острую необходимость в проведении медицинского скрининга населения. Это позволяет уже на ранней стадии заболевания выявлять у людей возникновение патологии легких. Для организации и проведения скрининга часто используют портативное цифровое флюорографическое оборудование. Флюорографический метод позволяет в сжатые сроки получить цифровое изображение, на котором достаточно четко фиксируются возможные искажения в легочной ткани.

Поэтому актуальной задачей в настоящее время является разработка эффективных алгоритмов анализа изображений, получаемых такими портативными устройствами. При этом необходимо, чтобы алгоритмы могли распознавать и интерпретировать достаточно широкий спектр легочных заболеваний (а также аномалий), облегчая тем самым работу специалистов-медиков.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Для решения обозначенной проблемы широко используется подход, основанный на нейросетевых технологиях обработки данных [1-3]. Рассмотрим наиболее известные результаты по распознаванию аномалий грудной клетки на рентгеновских снимках.

В [4] для классификации изображений разработан алгоритм, основанный на использовании сверточной нейронной сети DenseNet-121. Для обучения данной сети использовался набор данных ChestX-ray14 [5-6]. Результаты исследований показали, что алгоритм превосходит по качеству прогнозы врачей-рентгенологов.

В [6] для классификации патологий легких используют сеть архитектуры ResNet (ResNet-121), для обучения которой также использовался

набор данных Chest-Xray14. Для повышения качества предсказания патологий и интерпретации результатов в нейронной сети использовался механизм внимания. Эксперименты показали, что результаты не являются выдающимися, несколько уступая одному из существующих решений.

Несмотря на свои преимущества, указанные алгоритмы имеют ряд недостатков и ограничений при их использовании. Это присвоение только одной метки патологии, неуверенное распознавание редких патологий, нетривиальный процесс обучения механизма внимания и требовательность к аппаратному обеспечению. Однако основным недостатком является отсутствие механизма калибровки. Предлагается диагностировать наличие i болезни, только при $p_i > 0.5$, где p_i – вероятность болезни i , предсказанная нейросетью. Большинство наборов данных не сбалансированы для предсказания по числу объектов каждого класса, поэтому использования на практике такой схема предсказания не является оправданным.

В результате можно сделать следующий общий вывод. Несмотря на теоретическую эффективность, существующие решения обладают рядом недостатков. В первую очередь это связано с возможностями их практического внедрения. Отметим основные проблемы:

Первая из них заключается в том, что снимки, полученные с помощью различных флюорографических аппаратов (даже одного производителя) могут серьезно отличаться друг от друга. Более того, эти снимки отличаются также и от общедоступных наборов рентгеновских изображений грудной клетки, используемых для обучения нейронных сетей.

Вторая проблема носит исключительно технический характер. Так как любой цифровой аппарат является узко специализированным, то запуск на таком устройстве нейронной сети практически невозможен.

Наконец, необходима интерпретация результатов распознавания. Она, как правило, проводится специалистом-рентгенологом для валидации поставленного им диагноза.

Таким образом, хотя существующие алгоритмы фактически и выполняют задачу анализа флюорографических снимков, но получаемые ими решения оказываются далекими от их эффективного использования на практике.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Продуктивным решением обозначенных проблем может быть разработка специализированного программного комплекса. Такой комплекс должен иметь соответствующий набор интеллектуальных процедур. Такие процедуры должны не только повысить эффективность диагностики заболеваний легких, но и максимально автоматизировать весь процесс анализа и интерпретации флюорографических снимков в целом.

Предлагается программный комплекс, решающий поставленную задачу на основе нейросетевой технологии обработки данных. Комплекс состоит из следующих основных модулей: алгоритмический, база данных с набором эталонных снимков, модуль визуализации и интерпретации результатов и модуль калибровки.

Алгоритмическое решение основано на сверточной нейронной сети архитектуры DenseNet. Эта сеть на практике доказала свою эффективность в решении подобных рода задач. На вход сети подается рентгенографическое изображение разрешения 384*384 пикселя. Выход нейронной сети является вектором, каждый элемент которого интерпретируется как вероятность присутствия определенной патологии. Для оптимизации использован алгоритм Adam, функция потерь – кросс-энтропия. Для реализации нейронной сети - фреймворк Tensorflow языка программирования Python.

Модуль калибровки выполняется корректировку результатов работы алгоритма с учетом специфики медицинского оборудования. Для этого используются эталонные снимки из базы данных, соответствующие данному аппарату.

Работоспособность программного комплекса проверялось экспериментально на наборах данных RSNA и NIH.

Результаты замера качества для некоторых классов тестовой части набора данных NIH приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Качество предсказания для набора данных NIH

	AUC-ROC	F1	F1 (calibrated)	Threshold
No Finding	0.792	0.740	0.770	0.001
Atelectasis	0.816	0.397	0.420	0.7994
Consolidation	0.797	0.207	0.219	0.9790
Infiltration	0.708	0.387	0.426	0.001
Emphysema	0.896	0.287	0.347	0.979
Fibrosis	0.799	0.092	0.110	0.979
Effusion	0.883	0.556	0.555	0.599
Pneumonia	0.791	0.068	0.096	0.979
Cardiomegaly	0.891	0.301	0.351	0.979
Hernia	0.873	0.017	0.027	0.979

Результаты замера качества на тестовой части набора данных RSNA приведены в Таблице 2. Общее качество классификации составляет 0.950

Таблица 2.

Качество предсказания для набора данных RSNA

	Precision	Recall	F1
Normal	0.947	0.971	0.959
Pneumonia	0.956	0.919	0.937

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен программный комплекс для распознавания патологий грудной клетки. Разработано алгоритмическое решение, которое показало хорошее качество предсказания заболеваний и может быть использовано на практике. Программное наполнение комплекса обеспечивает возможность интерпретации полученных алгоритмом предсказаний и обладает высокой скоростью работы.

Библиографические ссылки

1. V. A. Golovko, V. V. Krasnoproshin. Neural network technologies of data processing: a textbook-Minsk: BSU, 2017. - 264s.
2. Rahaman, Md Mamunur et al. 'Identification of COVID-19 Samples from Chest X-Ray Images Using Deep Learning: A Comparison of Transfer Learning Approaches'. 1 Jan. 2020 : p. 821 – 839
3. CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning // Pranav Rajpurkar [et al.] [Electronic resource]. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1711.05225.pdf> . – Date of access: 12.03.2021
4. Densely connected Convolutional Networks // Gao Huang [et al.] [Electronic resource]. Mode of access: <https://arxiv.org/abs/1608.06993> . – Date of access: 23.03.2021
5. ChestX-ray8: Hospital-scale Chest X-ray Database and Benchmarks on Weakly-supervised Classification and Localization of Common Thorax Diseases // Xiaosong Wang [et al.] [Electronic resource]. – Mode of access: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Wang_ChestXray8_Hospital-Scale_Chest_CVPR_2017_paper.pdf . – Date of access: 29.03.2021
6. Hongyu Wang, Yong Xia. ChestNet: A Deep Neural Network for Classification of Thoracic Diseases on Chest Radiography. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/1807.03058> . – Date of access: 14.04.2021
7. Yan Han, Chongyan Chen. Pneumonia detection on chest X-ray using radiomic features and contrastive learning. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/2101.04269.pdf>. – Date of access: 19.04.2021

ПРИЛОЖЕНИЕ ПО ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОД ANDROID

Е.Г. Ненартович

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
nenartovski@yandex.ru
науч. рук. – Т.В. Соболева, канд. физ.-мат. наук. доц.*

Одним из самых популярных ресурсов информации, который очень часто используется, являются изображения. Все социальные сети, средства массовой информации, информационные порталы используют изображения и фотографии для наполнения контентом своих веб-сайтов, тем самым порождая спрос на инструменты, с помощью которых можно редактировать их.

В работе предлагается авторская версия приложения, в котором реализованы основные инструменты и функции графического редактора. Приложение является мобильным, имеет дружелюбный интерфейс и хорошую внутреннюю архитектуру для последующего развития.

Ключевые слова: графический редактор; мобильное приложение; операционная система Android.

ВЫБОР ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЯ

От выбора платформы зависит то, в каких сферах будет использоваться проект, какую аудиторию он будет охватывать и как будет развиваться в будущем.

Для создания графического редактора была выбрана такая платформа, как мобильные устройства под управлением операционной системы Android.

Выбор платформы был сделан по следующим критериям:

- большое количество пользователей мобильных Android-устройств;
- разнообразие форм-факторов устройств;
- быстрое появление приложения в магазине Google Play Market;
- низкая стоимость публикации приложения;
- низкая стоимость разработки приложения и самих устройств;
- использование языков программирования Java и Kotlin.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТУ

Для определения функционального назначения была проделана следующая работа. Поскольку для реализации была выбрана платформа Android, то были изучены ответы на запрос «photo editor» в Play Market.

Анализ существующих приложений позволил сформулировать следующие требования к разработке:

- красивый и удобный пользовательский интерфейс. Без привлекательного и современного дизайна приложение не сможет выдержать конкуренцию с другими приложениями, его просто не будут скачивать. Также очень важно, чтобы все компоненты располагались в удобном и интуитивно понятном для пользователя порядке;
- минимальный набор инструментов: кисти различных цветов, толщины и прозрачности; фильтры; наложение текста на изображение; добавление различных стикеров. Пользователи часто используют эти функции, чтобы делать публикации в социальных сетях более интересными и привлекающими внимание;
- уникальная особенность, выделяющая приложение среди других приложений: «как минимум, не хуже, но как-то по-другому»;
- поддержка на как можно большем количестве устройств. Это необходимо, чтобы приложение получило максимально возможную известность и не возникало трудностей с его распространением;
- стабильная работа. Нестабильная работа приложения будет порождать плохие оценки и отзывы в магазине, что будет негативно сказываться на дальнейшем распространении продукта;
- хорошая внутренняя архитектура, благодаря которой можно будет быстро развивать приложение. Это свойство необходимо, чтобы добавлять новые функции и возможности, немедленно реагируя на тенденции рынка и потребности пользователей.

АРХИТЕКТУРА ПРИЛОЖЕНИЯ

Основным классом в приложении является GraphicalEditor. Он реализует холст, с которым работает пользователь. В данном классе все компоненты хранятся будто «слоями». На рисунке схематично представлена работа класса GraphicalEditor.

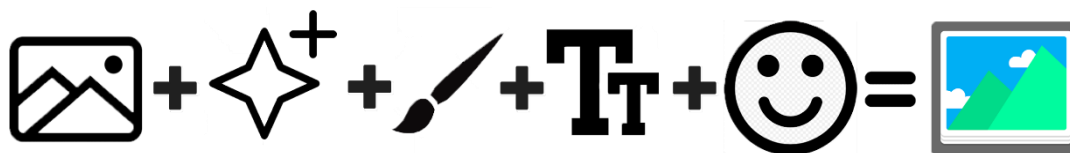


Рис. Схема работы класса GraphicalEditor

Работа с изображением осуществляется следующим образом:

- в редактор импортируется изображение для редактирования;
- на данное изображение накладывается фильтр;

- далее, накладывается слой, нарисованный кистью;
- накладывается слой из текстовых объектов;
- накладывается слой из смайликов и стикеров;
- в итоге получаем обработанное изображение.

При реализации GraphicalEditor был использован паттерн проектирования Builder [1]. Использование данного паттерна играет ключевую роль, он дает возможность развития приложения практически во всех направлениях. Мы можем без особых усилий менять функционал холста, и это дает нам следующие возможности:

- можно сделать платную подписку, с более профессиональными инструментами, функционал которой будет активироваться после покупки ее пользователем. В данном случае легко пересоздать холст, но уже с новым функционалом;
- добавление нового функционала будет производиться структурировано и не будет портить текущую архитектуру приложения;
- возможно создание новых приложений на основе разработанного текущего приложения.

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Представим ряд инструментов, реализованных в графическом редакторе.

Кисть – самый популярный инструмент для редактирования изображений. С помощью кисти можно исправлять дефекты изображения, писать надписи и рисовать несложные рисунки. Также реализован ластик, который является «особенной кистью». Кисть реализована с помощью библиотеки `android.graphics` [2].

Наложение фильтров – один из самых необходимых инструментов, который должен присутствовать в мобильном приложении для обработки изображений. Фильтры могут сглаживать дефекты изображения, придавать необходимый эффект фотографии, делать ее более загадочной и интересной. Например, вы можете легко устранить эффект красных глаз, преобразовать изображение в оттенки серого, настроить яркость, настроить насыщенность, повернуть изображение, применить эффект «рыбий глаз» и многое другое. В проекте были использованы фильтры из библиотеки `android.media.effect`.

Кроме того, в приложении были реализованы некоторые «кастомные» фильтры. Например, фильтр «черно-белое изображение», «негатив» и другие. Для реализации данных фильтров использовалась библиотека `android.graphics`.

Одной из популярных функций является размещение текста поверх изображения. Эта функция активно используется пользователями социальных сетей, например, при размещении постов и публикации историй. Приложение позволяет легко разместить текст поверх изображения. И не только разместить, а также масштабировать, редактировать, переместить или повернуть текст. Еще можно использовать эмодзи. В основе реализации – стандартный для библиотек android элемент TextView.

В проекте также реализованы стикеры – эта популярная функция делает публикацию интереснее и ярче. Стикеры можно разместить, масштабировать, повернуть. Для реализации данного функционала использовался стандартный для android-библиотек элемент ImageView.

Дизайн приложения разработан таким образом, чтобы разместить все инструменты в удобном для использования порядке. Также дизайн имеет современный вид и интуитивно понятен пользователю, что дает возможность конкурентоспособного существования графического редактора на рынке мобильных приложений.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА

Основная часть кода проекта написана на языке программирования Java. Однако уже во время разработки было принято решение переходить на язык программирования Kotlin. Кроме личного интереса, это решение можно аргументировать рядом объективных факторов, один из которых состоит в том, что в 2019 году Kotlin официально стал наиболее приоритетным языком для разработки android-приложений, и через несколько лет компания Google планирует полностью перевести рынок мобильных приложений на Kotlin. Таким образом, часть кода была написана на языке Kotlin, что позволило соответствовать стандартам разработки мобильного приложения на android, существенно сократило размер кода и значительно уменьшило время разработки.

Уже сейчас приложение является конечным продуктом. В качестве дальнейшего продвижения проекта можно улучшить имеющиеся инструменты, разделить приложение на платную и бесплатную версии, адаптировать его для графических планшетов, интегрировать в социальную сеть.

Библиографические ссылки

1. *Швец А.И.* Погружение в паттерны проектирования. Москва: Интернет-издание, 2007.
2. Drawables overview / Documentation for android app developers. URL: <https://developer.android.com/guide/topics/graphics/drawables> (date of access: 16.04.2021).

РАЗРАБОТКА БОТ-ПРИЛОЖЕНИЯ С СИСТЕМОЙ РЕКОМЕНДАЦИЙ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.А. Павлив

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
pavliv.liza@yandex.ru;
науч. рук. – И.С. Войтешенко, канд. техн. наук, доц.*

Системы рекомендаций широко используются во многих отраслях, в том числе электронной коммерции, поскольку могут увеличить доход компании и быть способом выделиться среди конкурентов. Все более распространенными становятся бот-приложения, поскольку удобны в использовании, а взаимодействие с ними напоминает общение с человеком. Бот-приложение с системой рекомендаций может быть интегрировано, например, с веб-сайтом для просмотра фильмов, что позволяет пользователю избежать необходимости листать каталоги и тратить время на сложный выбор: достаточно задать вопрос на естественном языке, и система рекомендаций подберет наиболее подходящие ему кинокартины. В данной работе описывается процесс построения модели машинного обучения для системы рекомендаций, проектирование и разработка бот-приложения с использованием Cloud-технологий, умеющего распознавать естественный язык пользователя, и интеграция бот-приложения с системой рекомендаций. Адаптированное под систему рекомендаций тренингов приложение в настоящий момент используется в системе тренингов ИООО «Эксадел» для рекомендации тренингов сотрудникам в соответствии с их предпочтениями. Данная разработка позволяет пользователю, использующему систему тренингов, в режиме реального времени получить помощь в выборе курсов или вебинаров, задав вопрос на естественном языке.

Ключевые слова: система рекомендаций, машинное обучение, коллаборативная фильтрация, проблема холодного старта, бот-приложение, Cloud-технологии.

КОЛЛАБОРАТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Существует несколько типов систем рекомендаций, предназначенных для решения различных задач. Одним из наиболее распространенных является коллаборативная фильтрация, поскольку часто информации о пользователях нет, и удобнее использовать только имеющиеся данные о продуктах. В ходе коллаборативной фильтрации анализируются действия пользователей и ищется сходство между их предпочтениями в продуктах, при этом не нужна никакой информации о самих пользователях. То есть если у пользователей совпали вкусы в прошлом, то предполагается, что они совпадут и в будущем. Главным преимуществом метода является то, что чем больше пользователей взаимодействуют с продуктами, тем более точными становятся новые рекомендации.

Одним из алгоритмов для реализации коллаборативной фильтрации является Field-aware Factorization Machines или машины факторизации с

учетом специфики поля. Взаимодействие пользователей с фильмами представляется в виде матрицы. Каждый столбец соответствует какой-то характеристике фильма. Последний столбец – выставленный пользователем рейтинг данному фильму. Поля – это независимые переменные, например, жанр фильма, а признаки – категориальные значения, которые принимает каждое поле, например, жанр комедия или боевик. В машинах факторизации изучается взаимодействие признаков [1]. Машины факторизации с учетом специфики поля хорошо использовать, когда при рекомендации учитываются характеристики объектов, их различные признаки, например, жанры фильма.

ПРОЦЕСС ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ В ML.NET

Для создания модели машинного обучения была использована ML.NET – среда с открытым исходным кодом, разработанная для обучения, создания и оценки моделей машинного обучения [2].

Процесс построения модели в ML.NET начинается с сбора и загрузки данных. В качестве набора данных для обучения модели для системы рекомендаций фильмов использовался набор рейтинговых данных с веб-сайта MovieLens, которые были собраны и предоставлены исследовательской лабораторией факультета компьютерных наук и инженерии университета Миннесоты GroupLens. Набор данных о фильмах содержит 27 миллионов пятизвездочных рейтингов. Каждый пользователь представлен анонимным идентификатором. Информация о каждом фильме представляет собой идентификатор, название фильма и жанры. Каждый фильм имеет один и более жанр. Далее данные делятся на обучающий и тестовый наборы в заданном соотношении (80 % на 20%). Затем создается обучающий конвейер, в котором выполняется преобразование набора тренировочных данных, поскольку алгоритмы машинного обучения ML.NET требуют того, чтобы входные данные или объекты находились в одном числовом векторе. Последним этапом в конвейер добавляется выбранный алгоритм обучения из каталогов ML.NET (FieldAwareFactorizationMachine).

Эффективность обученной модели можно оценить по тестовым данным. Для каждого алгоритма ML.NET предоставляет различные метрики для оценки. Наиболее часто используемой метрикой является точность, показывающая долю правильных прогнозов в тестовом наборе. Полученное значение метрики в разработанной модели: 78%. Всего для оценки модели было использовано 9 метрик, дающих приблизительно одинаковые значения эффективности модели.

Далее модель можно импортировать в различные форматы, в том числе ZIP и ONNX (Open Neural Network Exchange) – открытый и совместимый стандартный формат для представления моделей машинного обучения, который позволяет сохранять обученные модели, созданные на любой платформе, и запускать их на других платформах, включая .NET.

ПРОБЛЕМА ХОЛОДНОГО СТАРТА

Проблема холодного старта – невозможность предоставить новому пользователю точные рекомендации. Основная стратегия работы с новыми пользователями – попросить предоставить их некоторую информацию о своих предпочтениях в продукте для создания первоначального профиля пользователя: таким образом система будет иметь некоторую отправную точку для работы с ним. В разработанном приложении новому пользователю выводится список из 20 лучших фильмов в системе, ему предлагается оценить какие-нибудь из этих фильмов выставлением рейтингов по шкале от 1 до 5.

Как ранее говорилось, в ходе коллаборативной фильтрации ищутся пользователи со схожими интересами. В связи с этим возникает проблема нахождения степени «похожести» нового пользователя приложения на других пользователей из набора данных. Изначально для каждого пользователя составляется вектор предпочтений. Если пользователь оценил продукт, в вектор записывается выставленный рейтинг, если нет – ноль. Для измерения сходства векторов использовалось косинусное сходство. Чтобы найти человека с похожими предпочтениями, нужно найти косинусы между вектором рейтингов исходного пользователя и векторами пользователей из набора данных. Так как косинусное сходство определяется как косинус между двумя векторами, то результат всегда будет в диапазоне от -1 до 1, где -1 соответствует углу 180 градусов (вектора противоположно направлены) и показывает, что два пользователя не похожи, а 1 – углу 0 градусов (вектора сонаправлены), значит, два пользователя похожи. Поэтому из всех найденных косинусов выбирается максимальный.

РАЗРАБОТКА БОТ-ПРИЛОЖЕНИЯ

Боты могут делать то же самое, что и другие типы программного обеспечения, а их ключевое отличие заключается в своеобразной имитации действий людей и использовании механизмов, обычно предназначенных для общения между людьми. Именно из-за растущей популярности, актуальности и повсеместного использования ботов, для интеграции с ранее разработанной системой рекомендаций было выбрано бот-приложение.

Для его создания были использованы сервисы Azure Bot Service и Bot Framework, которые предоставляют средства для сборки, тестирования, развертывания и управления интеллектуальными ботами в единой среде [3]. Бот взаимодействует с Bot Framework Service для отправки и получения сообщений и событий. Для расширения функционала бота использовались компоненты, предоставленные платформой облачных сервисов Azure Cloud Services. Бот-приложение развертывается с помощью Azure App Service и выполняется в Azure. В процессе работы оно отправляет данные телеметрии в сервис App Insights, которые в дальнейшем используются для анализа работы приложения. Бот использует сервис распознавания естественного языка LUIS, который применяет искусственный интеллект к тексту для прогнозирования намерения пользователя (задавались примеры фраз для каждого намерения для обучения модели). Бот-приложение интегрируется с ранее обученной моделью системы рекомендаций. Для получения и сохранения информации о предпочтениях (выставленных рейтингах) пользователя используется облачное хранилище ключей/значений Azure Table storage. Приложение загружает постеры фильмов для интерактивного отображения рекомендаций, используя MovieLens API. Пользователь взаимодействует с ботом через канал, который используется для подключения бота к различным пользовательским приложениям, таким как Web Chat, Skype и другим. Для канала Web Chat был создан виджет веб-чата, который может быть интегрирован на любой веб-сайт.

Библиографические ссылки

1. *Peng Yan, Xiaocong Zhou, Yitao Duan.* E-Commerce Item Recommendation Based on Field-aware Factorization Machine // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/282846395_E-Commerce_Item_Recommendation_Based_on_Field-aware_Factorization_Machine (date of access: 04.10.2020).
2. What is ML.NET and how does it work? // Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/machine-learning/how-does-mldotnet-work> (date of access: 25.09.2020).
3. About Azure Bot Service // Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/bot-service/bot-service-overview-introduction?view=azure-bot-service-4.0> (date of access: 19.03.2021).

МОДУЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОБОБЩЕННОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА

Д.Е. Понявин

Белорусский государственный университет, г. Минск;

pndtev@gmail.com;

науч. рук. – А.А. Буславский, ст. преп.

Семантический анализ естественно-языковых текстов – неотъемлемая часть коммуникации. Основная сложность заключается в отсутствии строгой формализации принципов функционирования естественных языков в силу их эволюционного развития. Автоматизация данного процесса крайне важна для построения эффективных коммуникативных интерфейсов между человеком и компьютером, используемых, в частности, при реализации различного рода ассистентов: Яндекс Алиса, Google Assistant и др. Инструментом автоматизации могут выступать искусственные нейронные сети, на базе которых разработана уникальная архитектурная концепция семантического анализатора, обладающая свойствами расширяемости, адаптируемости и универсальной применимости при решении задач семантического анализа текстов. Предложенная концепция реализована на практике в рамках библиотеки NNSAtool, доступной на сервисе PyPI.

Ключевые слова: нейросетевой семантический анализ, обобщенный семантический анализатор, модульный семантический анализатор, библиотека NNSAtool.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Семантический анализ текста – это процесс получения *семантического представления* (смыслового описания) исходного текста. При реализации автоматизированного процесса семантического анализа результирующее представление должно иметь формальный вид – последовательность *С дескрипторов* текста (элементарных частей описания). Соответственно, $|C|$ – количество дескрипторов в семантическом описании. Обозначим, множество всех возможных дескрипторов как C^0 .

Различают два типа задач семантического анализа текстов [1]: классификация текста в целом и классификация отдельных составляющих текста. Элементарной составляющей текста является *токен*, который может быть представлен в виде целого слова или его части: слога или нескольких слогов. Таким образом, исходный текст может быть представлен в виде упорядоченной последовательности токенов. Данная последовательность есть *токенизированное представление* текста.

Здесь и далее понятия текста и его токенизированного представления отождествляются и обозначаются как T . Упорядоченное множество всех возможных токенов обозначается как T^0 . Отметим, что $|T|$ – общее количество токенов текста T .

В контексте токенизированного представления возможны два типа задач семантического анализа:

1. Задачи *агрегации семантики*: получение совокупного семантического представления текста T – номера класса, которому принадлежит текст T по семантическому признаку ($|C| = 1$);

2. Задачи *распределения семантики*: получение семантического представления текста T , состоящего из последовательности дескрипторов для каждого его токена – номеров классов, которым принадлежат токены по семантическому признаку ($|C| = |T|$).

Примечание: В случае необходимости классификации определенной части текста вводится специальный класс для токенов, не подлежащих классификации, что позволяет перейти к случаю 2.

Традиционно при решении задач области обработки естественных языков (NLP – Natural Language Processing) при помощи нейронных сетей используется слой вложения (Embedding) или иной модуль, реализующий подобное преобразование [2]. Преобразование вложения F_{embed} ставит в соответствие последовательности целых чисел D последовательность векторов E пространства заданной размерности. Последовательность D – *первичное представление* текста T , получаемое в результате входного преобразования F_{in} , на вход которого подается токенизированное представление T , где каждому токenu ставится в соответствие его порядковый номер в упорядоченном множестве T^0 .

Упомянутая ранее векторная последовательность E – *вторичное представление* текста T – может находиться в одном из трех состояний:

- Распределенное: $E = E_D$, где $|E_D| = |T|$;
- Агрегированное: $E = E_A$, где $|E_A| = 1$;
- Смешанное: $E = E_M$, где $E_M = (E_D, E_A)$.

Как было сказано ранее, при решении задач агрегации имеем $|C| = 1$, а при решении задач распределения – $|C| = |T|$. Так, при использовании не соответствующих состояний вторичного представления E (E_D для задач агрегации, E_A – для задач распределения, E_M – для любых задач), требуется применение дополнительного распределяющего (F_{distr}) или агрегирующего (F_{aggrg}) преобразования. На выходе F_{distr} и F_{aggrg} формируется векторная последовательность H – *скрытое семантическое представление* текста T – длины $|T|$ и 1 соответственно.

Последовательность номеров классов C – *внешнее семантическое представление* – является результатом выходного преобразования F_{out} , позволяющее получить для каждого вектора входной последовательности соответствующее целое число – номер класса. Традиционно размерность векторов совпадает с количеством возможных классов $|C^0|$, а позиция наибольшей

векторной компоненты соответствует номеру класса [1]. Например, результирующая векторная последовательность может состоять из вероятностных векторов. В любом случае преобразование F_{out} реализуется через функцию взятия аргумента максимума по вектору.

С целью согласованности размерности векторов последовательностей E и H с заданной размерностью входных векторов преобразований F_{distr} (или F_{aggrg}) и F_{out} соответственно вводятся дополнительные преобразования транзитного типа F_{trans} , F_{intra} и F_{incon} , для которых имеем:

$$F_{trans}: \{H\} \rightarrow \{P\}, F_{intra}: \{E_D\} \rightarrow \{E'_D\}, F_{incon}: \{E_A\} \rightarrow \{E'_A\}$$

Так, преобразование транзита F_{trans} ставит в соответствие векторной последовательности H последовательность P векторов размерности $|C^0|$ (*внутреннее семантическое представление*), причем $|H| = |P|$ – основное требование к преобразованиям транзитного типа. На выходе преобразований внутреннего транзита F_{intra} и внутренней конверсии F_{incon} формируется *третичное представление* текста T распределенного (E'_D , где $|E_D| = |E'_D|$) и агрегированного (E'_A , где $|E_A| = |E'_A|$) типа соответственно. В случае использования смешанного вторичного представления E_M оно предварительно разбивается на два представления: распределенное (E_D) и агрегированное (E_A), к каждому из которых может быть применено соответствующее преобразование транзитного типа.

ОПИСАНИЕ МОДУЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ

Данная архитектурная концепция основывается на результатах описанной выше формализации процесса семантического анализа. Так, каждому приведенному преобразованию соответствует модуль, который его реализует. В таблице 1 показано данное соответствие.

Таблица 1

Соответствие преобразований и реализующих модулей

Преобразование	Модуль	Описание (англ.)	Описание (рус.)
F_{in}	PREPR	Pre-processing	Предобработка
F_{embed}	EMBED	Embedding	Вложение
F_{intra}	INTRA	Internal transition	Внутренний транзит
F_{incon}	INCON	Internal conversion	Внутренняя конверсия
F_{distr}	MIDDL	Middle	Средний
F_{aggrg}			
F_{trans}	TRANS	Transition	Транзит
F_{out}	PSTPR	Post-processing	Постобработка

Примечание: в силу общности интерфейса взаимодействия с внешними модулями для потенциальных модулей DISTR и AGGRG, реализующих преобразования F_{distr} и F_{aggrg} , введено понятие среднего модуля MIDDLE, экземплярами которого они являются.

В рамках модульной концепции обобщенного нейросетевого семантического анализатора стоит выделять два уровня:

- Статический – фиксированное расположение модулей
- Динамический – переменное расположение модулей

Так, для модулей статического уровня расположение изначально определяется архитектурой обобщенного семантического анализатора. В свою очередь для модулей динамического уровня расположение необходимо задать на этапе проектирования конкретного семантического анализатора. Все модули, упомянутые ранее, относятся к статическому уровню, архитектура которого представлена на рисунке 1.

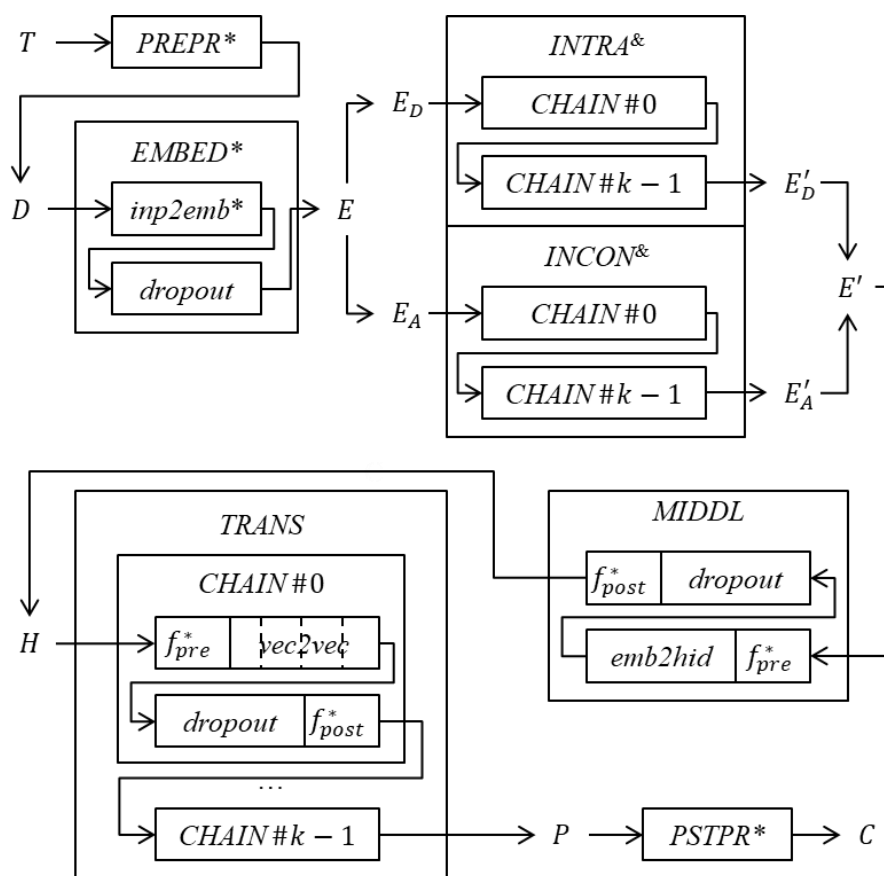


Рис. 1. Схема статического уровня модульного семантического анализатора

Примечание:

- обязательные модули и иные компоненты отмечены символом «звездочка» (*); модули, отмеченные символом «амперсанд» (&), могут быть непустыми только при наличии непустого модуля MIDDLE;

- $inp2emb$, $emb2hid$ – нейросетевые модули, $dropout$ – слой исключения (Dropout), $vec2vec$ – последовательность согласованных однотипных нейросетевых модулей, f_{pre} и f_{post} – преобразования локальной пред- и постобработки.

Примером модуля, располагаемого на динамическом уровне, является модуль CNNCT (connection module – модуль соединения). Данный модуль является объединением двух нейросетевых концепций, используемых для обеспечения большей гибкости в глубоких нейросетевых архитектурах: соединений быстрого доступа (skip connections, shortcuts) [3] и механизма внимания (Attention) [4].

Точное расположение модуля CNNCT определяется при создании конкретного семантического анализатора парой модулей: отправитель (*sender*) и приемник (*receiver*). Модуль CNNCT обеспечивает соединение между отправителем и приемником параллельно другим модулям, находящимся между ними на статическом уровне. Посредством данного модуля могут быть переданы данные полностью или частично по принципу соединения быстрого доступа, а также вектор весовых коэффициентов, вычисленный на основе текущего контекста, или результирующий вектор, полученный из векторной последовательности в соответствии с вычисленными весами по принципу механизма внимания.

Представленная архитектура имеет ряд потенциальных точек расширения системы, таких как настраиваемые локальные преобразования пред- и постобработки, возможность использования собственных нейросетевых компонент в рамках соответствующих модулей. На основе предложенной модульной концепции обобщенного нейросетевого семантического анализатора реализована библиотека NNSAtool, доступная на сервисе PyPI. Подробнее об универсальной практической применимости и вариантах адаптации предложенной архитектурной концепции сказано в тексте дипломной работы [5].

Библиографические ссылки

1. A Deep Architecture for Sentiment Analysis of News Articles / D. Nguyen [et al.]; Ho Chi Minh City University of Technology. – Ho Chi Minh, 2019. – 12 p.
2. Almeida, F. Word Embeddings: A Survey / F. Almeida, G. Hexéo; Federal University of Rio de Janeiro. – Rio de Janeiro, 2019. – 10 p.
3. Skip Connections Matter: On the Transferability of Adversarial Examples Generated with ResNets / D. Wu [et al.]; The 8th International Conference on Learning Representations (ICLR 2020). – Addis Ababa, 2020. – 15 p.
4. Attention Is All You Need / A. Vaswani [et al.]; The 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017). – Long Beach, 2017. – 11 p.
5. Понявин, Д.Е. Решение задач семантического анализа текстов при помощи искусственных нейронных сетей / Д.Е. Понявин; Белорусский государственный университет. – Минск, 2021. – 63 стр.

ПОСТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТЕЛОМЕРАЗЫ ЧЕЛОВЕКА

Н. М. Тев

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
tev.forwork@gmail.com;
науч. рук. – А. М. Андрианов, д-р хим. наук, проф.*

Теломеры – это концевые некодирующие участки ДНК, выполняющие защитную функцию и не допускающие деградации и слияния концов хромосом. В процессе деления клетки ДНК-полимераза не способна обеспечить полную репликацию концов хромосом, поэтому при каждом делении длина теломер сокращается. В конечном итоге длина теломер становится меньше некоторой определенной критической величины, что приводит к старению клетки и её гибели.

Для поддержания длины теломер служит специальный фермент – теломераза. На сегодняшний день не существует точной модели пространственной структуры теломеразы человека. При этом задача построения подобной модели имеет большое значение в связи с тем, что данный фермент является перспективной мишенью для разработки противоопухолевых препаратов.

В настоящей работе проведено гомологичное моделирование пространственной структуры каталитического фрагмента (TERT) теломеразы человека, осуществляющего обратную транскрипцию. В качестве исходных данных для гомологичного моделирования была использована пространственная структура теломеразы красного мучного жука *Tribolium castaneum*. Построена и проанализирована молекулярно-динамическая траектория, моделирующая поведение данной структуры во времени. На основе молекулярно-динамической траектории проведена дополнительная оптимизация модели с использованием методов квантовой химии.

Полученная в результате работы модель пространственной структуры теломеразы может быть использована в других исследованиях как исходная точка для дальнейшего анализа, а также с целью поиска ингибиторов теломеразы, как потенциальных лекарственных препаратов с широким спектром противоопухолевого действия.

Ключевые слова: рак, противоопухолевые препараты, теломераза, гомологичное моделирование, молекулярная динамика, квантовая химия.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕЛОМЕРАЗЫ ПО ГОМОЛОГИИ

Мутационный механизм молекулярной эволюции приводит к появлению семейств родственных белков, имеющих похожие аминокислотные последовательности и трехмерные структуры. Такие белки называются гомологичными. На этом факте основан один из теоретических подходов к моделированию пространственной структуры белков – моделирование

по гомологии [1]. В рамках данного подхода строится выравнивание аминокислотных последовательностей моделируемого белка и родственного белка-шаблона, а затем с помощью построенного выравнивания последовательность моделируемого белка просто переносится на пространственную структуру шаблона.

В качестве белков-шаблонов использовалась структура каталитической субъединицы теломеразы мучного жука *Tribolium castaneum* (код *pdb: 5c9g*) и единственный экспериментально разрешенный фрагмент теломеразы человека – домен СТЕ (код *pdb: 5ugw*). Аминокислотные последовательности каталитических субъединиц у жука и человека значительно различаются (подобие составляет всего 22,2%), поэтому при осуществлении автоматического гомологичного моделирования с помощью веб-сервиса SWISS-MODEL [2] использовали шаблон СТЕ-домен теломеразы человека. Остальные аминокислотные остатки заменялись вручную на соответствующие аминокислоты теломеразы человека в молекулярном редакторе «USCF Chimera». Для осуществления подобной замены было использовано выравнивание, полученное ранее в другой работе по исследованию теломеразы человека [3]. Аминокислотные остатки ТЕРТ жука, не имеющие своих аналогов в структуре теломеразы человека, и наоборот, исключались из целевой полипептидной цепи.

В результате была получена структура, полностью повторяющая пространственное строение каталитической субъединицы *Tribolium castaneum*, однако с аминокислотной последовательностью, максимально приближенной к последовательности теломеразы человека.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Белки и их комплексы допускают множество конформаций, с которыми связаны их биологические функции. Для всестороннего анализа конформационных переходов были разработаны методы молекулярной динамики. Основная идея, лежащая в основе этих методов – предсказание поведения каждого отдельного атома системы как функции от времени. Для моделирования динамики системы создаются условия, в которых модель белка помещается в растворитель (обычно в роли растворителя выступает вода). После этого на основе силовых полей рассчитываются скорости и направления движения атомов системы, и атомы сдвигаются в рассчитанных направлениях в течение очень короткого промежутка времени (порядка 10-15 пс) [4]. Затем те же действия повторяются уже с учетом нового положения атомов. Совокупность координат атомов системы на каждом шаге молекулярной динамики формирует так называемую траекторию системы, непосредственно описывающую поведение системы на

заданном временном промежутке. Состояние системы на отдельном шаге называется фреймом траектории.

Для моделирования молекулярной динамики в данной работе использовался программный пакет AMBER. С его помощью был выполнен расчет топологии системы, описывающей типы атомов, связи между ними и силовые поля. После расчета топологии была проведена начальная подготовка системы. Данный этап включает в себя построение ячейки с растворителем и ионами, куда помещается моделируемая структура, минимизацию энергии молекулы, нагрев системы, стабилизацию плотности растворителя и уравнивание системы в заданных условиях. Результатом подготовки является начальная конформация системы, которая представляет собой стартовую точку для полноценного моделирования молекулярной динамики.

С помощью средств пакета AMBER была получена траектория, моделирующая поведение построенной ранее модели теломеразы на временном промежутке длиной 200нс. С целью оценки стабильности пространственного строения модели был построен график зависимости среднеквадратичного отклонения (RMSD) от времени относительно исходного состояния структуры (рис. 1). Из него видно, что среднеквадратичное отклонение на протяжении всей траектории не превышает 7Å , что говорит о стабильности пространственной структуры модели.

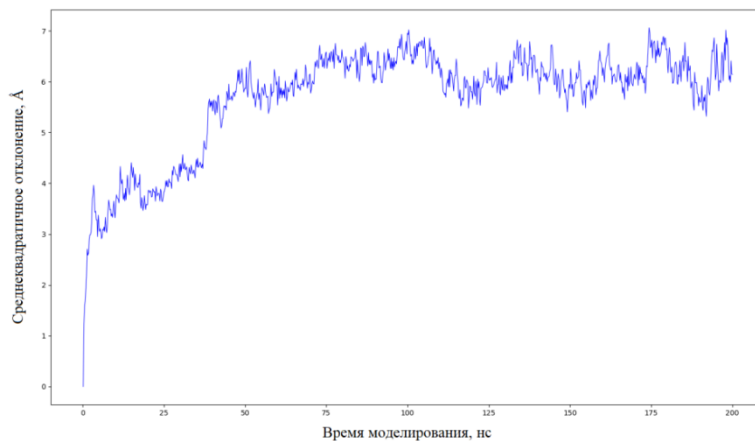


Рис. 1. Зависимость среднеквадратичного отклонения (RMSD) от времени относительно исходного состояния структуры

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МЕТОДАМИ КВАНТОВОЙ ХИМИИ

График зависимости потенциальной энергии молекулы от ее геометрических параметров представляет собой некоторую поверхность в многомерном пространстве. Конформации, соответствующие локальным энерге-

тическим минимумам на этой поверхности называются конформерами. Такие конформации представляют особый интерес для исследования, потому что являются наиболее стабильными состояниями молекулы.

Полученная в результате молекулярно-динамического моделирования траектория может содержать одновременно несколько конформаций молекулы, лежащих в областях, соответствующих различным локальным энергетическим минимумам и поэтому является хорошей основой для поиска конформеров. Для того чтобы выделить наиболее характерные конформации белка с целью их дальнейшей оптимизации, все фреймы траектории были разделены на 30 групп с помощью метода k-средних (k-means). Подобная кластеризация предполагает, что в каждой группе конформации в большей мере схожи друг с другом, чем с конформациями из других групп. Для каждой группы был выбран наиболее типичный ее представитель, в результате чего было получено 30 конформаций, соответствующих различным вариантам пространственной структуры теломеразы.

С целью получения оптимальных устойчивых состояний полученные конформации были подвергнуты процедуре минимизации энергии. Для этого были использованы методы квантовой химии, позволяющие достигнуть очень точности в решении подобных задач. В частности, для проведения квантово-химических расчетов использовался функционал пакета МОРАС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоговой моделью пространственной структуры каталитической субъединицы теломеразы человека, полученной в данной работе, является конформация, которая по результатам оптимизации показала лучшее значение потенциальной энергии. Данная модель может быть использована для дальнейших структурных исследований каталитической субъединицы теломеразы человека, а также для поиска ингибиторов теломеразы человека, как потенциальных лекарственных препаратов с широким спектром противоопухолевого действия.

Библиографические ссылки

1. Хельтве Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика. Москва: БИНОМ, 2013.
2. Waterhouse A., Bertoni M., Bienert S. SWISS-MODEL: homology modelling of protein structures and complexes // *Nucleic Acids Res.* 2018. Т. 46. С. 296–303.
3. Nguyen T.H.D. Cryo-EM structure of substrate-bound human telomerase holoenzyme // *Nature.* 2018. Т. 557. С. 190–195.
4. Singh, D.B. *Computer-Aided Drug Design.* / Singapore: Springer, 2020.

РАСПРАЦОЎКА РЭЛЯЦЫЙНАЙ БАЗЫ ДАДЗЕННЫХ, АПТЫМІЗАВАНАЙ ПАД ПАТРЭБЫ ПРАГРАМАВАННЯ ГУЛЬНЯЎ

К. І. Тамашэвіч

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, г. Мінск;

konstantin.tomashevich@gmail.com

нав. кір. – У. М. Гошка, старэйшы выкладчык

З-за больш высокіх патрабаванняў камп'ютарных гульняў да хуткасці тэхналогіі захавання і апрацоўкі дадзеных, выкрыстоўваемыя звычайнымі настольнымі і вэб-прыладамі, рэляцыйныя базы дадзеных не падыходзяць для распрацоўкі гульняў. Але з развіццём так званых «арыентаваных на дадзеныя» шаблонаў распрацоўкі гульнёвай логікі з'яўляецца ўсё больш паралеляў паміж механізмамі гэтых шаблонаў і механізмамі рэляцыйных баз дадзеных. У гэтай працы былі разгледжаны найбольш выкарыстоўваемыя шаблоны праектавання гульнёвай логікі і знойдзены паралелі паміж гэтымі шаблонамі і аналагічнымі механізмамі ў рэляцыйных базах дадзеных. Таксама былі разгледжаны механізмы індэксацыі і алгарытмы злучэння ў рэляцыйных базах дадзеных, неабходныя для рашэння задачы эфектыўнай пастаўкі існасцяў сістэмам у шаблоне Існасць-Кампанент-Сістэма. Пасля гэтага былі пастаўлены патрабаванні да эксперыментальнай убудаванай базы дадзеных, арыентаванай на працу ў якасці пастаўшчыка існасцяў сістэмам у шаблоне Існасць-Кампанент-Сістэма; выканана яе праектаванне і рэалізацыя. Магчымасць выкарыстання распрацаванай эксперыментальнай базы дадзеных была праверана з дапамогай напісання невялікай гульні. У выніку чаго зроблена выснова, што атрыманая эксперыментальная база дадзеных мае добрыя перспектывы да развіцця ў паўнаватасны прадукт.

Ключавыя словы: распрацоўка гульняў, праектаванне гульнёвых сімуляцый, шаблон Існасць-Кампанент-Сістэма, рэляцыйныя базы дадзеных, C++.

УВОДЗІНЫ

Камп'ютарныя гульні з'яўляюцца дыскрэтнымі сімуляцыямі ў рэальным часе з адной ці больш асобамі, якія прымаюць рашэнні незалежна адна ад адной. Пры гэтым да кроку сімуляцыі прымяняюцца дастаткова жорсткія патрабаванні: у сучасных гульнях крок сімуляцыі павінен завяршацца за 17мс у 99.9% выпадкаў, калі сістэма адпавядае патрабаванням гульні. З-за такіх патрабаванняў звычайныя для класічных настольных і вэб-прыладаў методыкі і тэхналогіі не могуць выкарыстоўвацца для распрацоўкі гульняў, бо гэтыя тэхналогіі арыентаваны пад прадастаўленне вялікай колькасці карыстальнікаў доступу да вялікай колькасці дадзеных з больш мяккімі патрабаваннямі да часу выканання. Такім чынам, арыентацыя на прадастаўленне невялікай групе карыстальнікаў адносна невялікага аб'ёму дадзеных, але з жорскімі патрабаваннямі да хуткасці і стабільнасці часу выканання,

задала іншы вектар развіцця тэхналогіям працы з дадзенымі ў сферы распрацоўкі гульняў.

Тым не менш, у апошнія гады ўсё больш папулярным становіцца аналіз і пошук паралеляў паміж шаблонамі праектавання ў распрацоўцы гульняў і ў звычайных бізнес-прыладах. На аснове гэтых даследванняў быў створаны шаблон праектавання Існасць-Кампанент-Сістэма, які ідэалагічна значна бліжэй да рэляцыйных структур, чым стандарт індустрыі – шаблон Сцэна-Вузел-Кампанент. Шаблон Існасць-Кампанент-Сістэма актыўна развіваецца і знаходзіць прымяненне ў індустрыі: на ім кампанія Blizzard распрацавала гульню Overwatch, а для вядомага гульнёвага рухавіка Unity быў распрацаваны эксперыментальны пакет Unity DOTS. Пры гэтым у шаблоне Існасць-Кампанент-Сістэма на дадзены момант няма адзінай спецыфікацыі алгарытму пошуку патрэбных існасцяў і перадачы іх сістэмам. Таму ў межах гэтай працы было вырашана паставіць эксперымент і напісаць убудаваную базу дадзеных, якая будзе выконваць задачы пошуку і перадачы існасцяў сістэмам.

ШАБЛОН ІСНАСЦЬ-КАМПАНАЕНТ-СІСТЭМА

Пералічым асноўныя прынцыпы шаблона Існасць-Кампанент-Сістэма:

- Логіка і дадзеныя павінны быць поўнасцю адлучаны адно ад аднаго.
- Кампанент – набор дадзеных без канкрэтнай логікі іх апрацоўкі.
- Існасць – звязаны з унікальным ідэнтыфікатарам набор кампанентаў.
- Сістэма – функцыя ці набор функцый, якія выклікаюцца кожны кадр і выконваюць праход па ўсіх існасцях, якія маюць адпаведныя ўмовам сістэмы кампаненты. Пры гэтым сістэма можа чытаць, мадыфікаваць, ствараць і выдаляць кампаненты.
- Парадак выканання сістэмаў фіксіраваны і не можа змяняцца падчас выканання, але набор актыўных сістэм у агульным выпадку можа змяняцца падчас выканання сімуляцыі.

Поўнае адзяленне дадзеных ад логікі спрашчае паралелізацыю алгарытма сімуляцыі і рэалізацыю механізма абмену дадзенымі ў многакарыстальніцкіх гульнях. Таксама лічыцца, што выкарыстанне гэтага шаблона спрашчае падтрымку праектаў з вялікай кодавай базай. Механізмы гэтага шаблона даволі блізкія да механізмаў рэляцыйных баз дадзеных, таму пры праектаванні базы дадзеных было вырашана ў першую чаргу арыентавацца на гэты шаблон.

ЗАДАЧА ЭФЕКТИВНОЙ ПАСТАУКИ ИСНАСЦЮ СИСТЭМАМ

Асноўнай задачай, якую павінна рашаць распрацоўваемая эксперыментальная база дадзеных, з'яўляецца перадача існасцяў сістэмам у шаблоне Існасць-Кампанент-Сістэма. Разгледзім гэту задачу больш падрабязна. Пры кожным кроку сімуляцыі адбываецца выклік усіх сістэм, якія чакаюць перадачы патрэбных ім існасцяў для выканання аперацый над імі. У залежнасці ад складанасці сімуляцыі колькасць сістэм ў ёй змяняецца ад 10 у простых казуальных гульнях да 200 у гульнях з мноствам складаных механік. Пры гэтым адзін крок павінен выконвацца за 17 мілісекунд у большасці выпадкаў. Дадаткова чакаецца, што большасць адведзенага часу будзе выдзелена на выкананне аперацый над існасцямі, а не на пошук існасцяў для сістэм.

Запыт на існасці ад сістэмы звычайна складаецца з набору пакампанентных патрабаванняў: сістэма ўказвае, якія кампаненты ёй патрэбны для чытання і якія для запісу, а таксама можа дадаваць патрабаванні да значэнняў канкрэтных палёў кампанентаў. Пры гэтым для аптымізацыі звычайна патрабуецца, каб запыт быў канстантай. Адказам на такі запыт з'яўляецца плынь, якая, у залежнасці ад рэалізацыі, прадстаўляе сістэме ці спасылкі на існасці, у якіх ёсць усе запатрабаваныя кампаненты, якія адпавядаюць перададзеным крытэрыям, ці самі наборы запатрабаваных кампанентаў, якія знаходзяцца ў адной існасці.

ПАТРАБАВАННІ ДА ЭКСПЕРЫМЕНТАЛЬнай БАЗЫ ДАДЗЕНых

Спачатку да базы дадзеных былі пастаўлены агульныя патрабаванні, неабходныя для працы ў любой гульнёвай сімуляцыі, а не толькі ў межах шаблона Існасць-Кампанент-Сістэма:

- База дадзеных павінна быць убудаванай, бо перадача дадзеных па каналу будзе займаць залішне шмат часу.
- Картэжы базы дадзеных павінны найпрост інтэгравацца з тыпамі дадзеных C++. Гэта дазволіць зрабіць працу з палямі картэжа значна больш хуткай.
- База дадзеных павінна падтрымліваць аналагічныя SELECT, UPDATE, INSERT і DELETE аперацыі.
- База дадзеных павінна падтрымліваць даданне і выдаленне трыгераў, напісаных на C++.
- База дадзеных павінна дазваляць кэшыраваць указальнікі на картэжы для перадачы модулям, якія не арыентаваны на працу з базами дадзеных.

- Пры перадачы вынікаў аперацый неабходна пазбягаць капіявання картэжаў, бо капіяванне прыводзіла б да дадатковага выкарыстання памяці і працэсарнага часу.

Для таго каб эксперыментальная база дадзеных магла працаваць як пастаўшчык існасцяў сістэмам, яна павінна мець магчымасць эфектыўна выконваць аперацыі злучэння запісаў. Таму былі дададзены наступныя патрабаванні:

- База дадзеных павінна падтрымліваць стварэнне шчыльных ўпарадкаваных індэксаў і аўтаматычна падтрымліваць іх карэктнасць.

- База дадзеных павінна мець агульны інтэрфэйс для працы з індэксаванымі і неіндэксаванымі палямі.

- База дадзеных павінна адтрымліваць аперацыю злучэння з аўтаматычным падборам алгарытма рэалізацыі.

ПРАВЕРКА ЭКСПЕРЫМЕНТАЛЬнай БАЗЫ ДАДЗЕНых

Для праверкі магчымасці практычнага выкарыстання распрацаванай эксперыментальнай базы дадзеных у якасці пастаўшчыка існасцяў сістэмам было вырашана распрацаваць аднолькавую трывіяльную гульню ў двух варыянтах: з дапамогай распрацаванай базы дадзеных і з дапамогай EnTT – вядомай рэалізацыі шаблона Існасць-Кампанент-Сістэма з адчыненым зыходным кодам. У распрацаванай для праверкі гульні задачай гульца з'яўляецца пошук прадуктаў у супермаркеце падчас эпідэміі: каб не заразіцца і паспяхова завяршыць гульню, неабходна мінімізаваць кантакты з кіруемымі штучным інтэлектам гульцамі. У выніку гэтай праверкі было вырашана, што хоць у распрацаванай базы дадзеных ёсць некаторыя недахопы, яна мае добрыя перспектывы для развіцця і дапрацоўкі. Такім чынам галоўным вынікам гэтай працы з'яўляецца ўбудаваная база дадзеных, якую ўжо можна выкарыстоўваць як пастаўшчыка існасцяў сістэмам у шаблоне Існасць-Кампанент-Сістэма ў межах эксперыментальных праектаў.

Бібліяграфічныя спасылкі

1. Gregory J. Game Engine Architecture. Boca Raton : CRC Press, 2018.
2. Nystrom R. Game Programming Patterns. Seattle : Genever Benning, 2014.
3. Harrington J. L. Relational Database Design and Implementation: Clearly Explained. Waltham : Morgan Kaufmann, 2016.
4. Landenmaki T. Relational Database Index Design and the Optimizers. New Jersey : Wiley-Interscience, 2005.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТРЕКИ КАК ЧАСТЬ ЦИФРОВОГО УНИВЕРСИТЕТА

Г. Г. Трубач

*Белорусский государственный университет, Минск;
gennady.tribach@gmail.com;
науч. рук - А. Н. Курбацкий, д-р. техн. наук, проф.*

Классическое образование не успевает за изменениями профессий и технологий в настоящее время. Также оно не позволяет междисциплинарных специалистов в полной мере. Одним из вариантов решений является индивидуализация образования посредством построения индивидуальных образовательных треков для каждого студента. Индивидуальные образовательные треки позволяют готовить междисциплинарных специалистов в актуальных областях посредством ведения студента во время обучения, предлагая необходимые дисциплины и анализируя их освоение. Индивидуальные образовательные треки должны строиться и отслеживаться автоматизировано, что влечет за собой построение цифровой платформы. В образовательной сфере такой платформой может быть платформа цифрового университета, которая будет включать множество модулей, среди которых будет модуль построения и поддержки индивидуальных образовательных треков.

Ключевые слова: цифровой университет; индивидуальные образовательные треки; цифровизация образования; качество образования.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТРЕКИ

Классическая модель образования предполагает фиксированный набор дисциплин для студентов определенной кафедры факультета. Такие предметы включают в себя общеуниверситетские дисциплины (общеобразовательные дисциплины без привязки к специальности), дисциплины факультета (базовые дисциплины необходимые для освоения специальности) и дисциплины специализации.

Так как набор таких дисциплин фиксирован, то такая модель имеет определенные недостатки:

- Классические ВУЗы не способны быстро адаптироваться под актуальные потребности рынка, т.к. специальности относительно быстро устаревают, например на 2019 год порядка 47% человек в России работало не по профессии [1].
- Затруднена, либо практически невозможна, подготовка междисциплинарных специалистов, например, биоинформатиков, медиков-технологов
- Невозможна смена специальности, когда студенты осознают, что выбранная специальность им не подходит

Возможным решением данных недостатков может выступить индивидуализация образования, которая на данный момент широко внедряется в Европе и США. Основой индивидуализации является индивидуальный образовательный трек, который представляет собой набор дисциплин, необходимых для получения необходимых навыков в разных областях.

В отличие от классического образования, при индивидуализации стираются границы между кафедрами, т. е. предполагается, что студенты могут изучать дисциплины, преподаваемых на любых кафедрах. Таким образом решается проблема получения междисциплинарных навыков.

В целом можно выделить следующие преимущества индивидуализации образования:

- Появляется многообразие выбора дисциплин и повышается заинтересованность студентов в специальности
- Университет начинает лучше реагировать на меняющиеся потребности общества
- Студенты могут менять специальности посредством изменения индивидуального образовательного трека
- Индивидуализация позволяет готовить междисциплинарных специалистов

Например, индивидуальные образовательные треки были внедрены в Тюменском Государственном Университете. Структура образования была изменена таким образом [2], что основные базовые дисциплины они изучают на первом курсе, а на старших курсах изучают, в основном, профильные предметы (рис. 1). Студенты не прикрепляются к кафедрам, к каждому студенту назначается тьютор. Каждый тьютор работает с 200 студентами и помогает им в выполнении образовательного трека.



Рис. 1. Структура образования в Тюменском ГУ [2]

ПЛАТФОРМА ЦИФРОВОГО УНИВЕРСИТЕТА

Индивидуальные образовательные треки должны быть адаптивны и предоставлять контроль достижения его целей. Для этого необходима система автоматизированной поддержки индивидуальных образовательных треков.

Такая система может быть частью цифровой образовательной платформы – цифрового университета. Такая автоматизированная платформа может включать в себя:

- Модуль управления образовательным процессом, который включает в себя:
 - Управление учебными модулями и курсами
 - Построение и отслеживание индивидуальных образовательных треков
 - Ведение успеваемости и рейтингов студентов
- Открытый API для интеграции с другими университетами, компаниями и государственными учреждениями
- Модуль анализа данных образовательного процесса, который
 - Анализирует данные на основе работы студентов с курсами, отзывами об них, успеваемости и других источников
 - Отслеживает выполнение индивидуальных образовательных треков и составляет отчеты для преподавателей-кураторов (тьюторов)
 - Предоставляет отчеты о качестве образовательного процессам на основе анализа руководству учреждения образования и преподавателям для корректировки программ курсов и учебного процесса

Данные такой системы должны храниться в удобном для анализа виде, а также безопасно – одним из вариантов безопасного хранения данных может быть частный блокчейн, работающий на серверах университета.

Особенностью такой системы является возможность интеграции с другими университетами и бизнесами – это поможет решить проблему актуальности дисциплин, посредством заимствования. В ответ можно предоставлять доступ к своим дисциплинам и проанализированным данным.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРЕКОВ

Одним из модулей платформы цифрового университета может являться модуль системы поддержки индивидуальных образовательных треков. Такая система сможет в автоматизированном режиме:

- Предлагать предметы в зависимости от цели

- Отслеживать результаты обучения и корректировать трек в зависимости от результатов
 - Например, в случае невысокой успеваемости может либо предлагаться повторение (освоение) каких-либо фундаментальных знаний, либо освоение смежных вспомогательных знаний.
- Автоматическая адаптация предметов в зависимости от актуальности
 - По этой причине важна интеграция университета с другими университетами и образовательными платформами

Библиографические ссылки

1. ВЦИОМ: почти каждый второй опрошенный россиянин работает не по своей специальности [Электронный ресурс] // ТАСС. – Режим доступа: <https://tass.ru/obschestvo/6333815>. – Дата доступа: 30.05.2021.
2. Индивидуальные образовательные траектории в университете: ключевые точки внедрения [Электронный ресурс] // Forbes. – Режим доступа: <https://education.forbes.ru/special-projects/iot-main/iot-unmn#!/tab/263036917-2>. – Дата доступа: 30.05.2021.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОРГОВЫХ СТРАТЕГИЙ НА РЫНКЕ КРИПТОВАЛЮТ

И. В. Федченков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

ilya.fedchankau@gmail.com;

научн. рук. – В.И. Малюгин, канд. физ.-мат. наук, доц.

В работе рассматриваются оптимизации торговых стратегий на финансовых рынках. В рамках торговых стратегий используются технические индикаторы с оптимизациями и сводный индикатор, построенный на оптимизированных индикаторах. Разработаны соответствующие алгоритмы и программное обеспечение для анализа и создания стратегий. Представлены результаты экспериментальных исследований для рынка криптовалют.

ВВЕДЕНИЕ

В 2021-м году наблюдается стремительный рост рынка криптовалют. Всего лишь с января по май 2021-го года общая капитализация увеличилась с 770 миллионов до 2.2 миллиардов долларов США. Быстрый рост привлекает огромное количество новых участников, в том числе непрофессиональных частных инвесторов. Благодаря этому возникают большие возможности для создания алгоритмических торговых стратегий. Формирование данных стратегий вместо ручных является общемировым трендом и позволяет получать преимущество за счет недоступности большинству участников создания алгоритмических стратегий. А реализация данных стратегий на рынке криптовалют потенциально приводит к значительно большей доходности.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ РЫНКА

Любой индикатор технического анализа имеет набор параметров. Ими могут быть: период, как у скользящих средних, уровни, при которых индикатор дает сигналы на покупку и продажу, веса параметров и множество других. Так, для индикатора MACD стандартными параметрами являются {12, 26, 9}, которые соответствовали в год разработки индикатора периодам {2 недели, 1 месяц, 1.5 недели} при 6-дневной рабочей неделе [1, 2].

На финансовых рынках поведение участников бывает разным, из-за чего случаются периоды трендов, высокой и низкой волатильности, скачки цен [3, 4]. В то же время, для технических индикаторов были найдены значения параметров: периоды, таймфреймы и сигнальные уровни, при которых имеет место средняя положительная доходность в

течение 32 месяцев. Для проверки оптимальности полученных значений параметров экспериментальным образом проверяются две гипотезы:

- Использование стандартных параметров индикаторов не приводит к значительной положительной доходности;
- Использование оптимизации на основе исторических данных приводит к доходности выше по сравнению со стандартными параметрами.

С целью проверки этих предположений был разработан алгоритм, реализованный в комплексе программного обеспечения. Алгоритм состоит из двух блоков: поиск оптимального набора параметров индикатора, призванного максимизировать доходность и вычисление доходности индикатора.

Поиск оптимального набора параметров выполняется следующим образом:

- На основе исторических данных за определенный промежуток времени вычисляются доходности всевозможных вариантов наборов параметров;
- Определяются области с наибольшими доходностями и выбирается одна;
- В области с наибольшими доходностями выбирается центральный элемент. Шаги 2 и 3 выполняются с целью исключения случайных выбросов.

Вычисление доходности индикатора происходит методом «walk forward» на основе исторических данных. Данный метод активно используется в финансах и при создании стратегий торговли на финансовых рынках. Идея заключается в разделении исторических данных на 2 части: для поиска оптимальных параметров и для тестирования стратегии [2]. В данной работе метод используется в классическом виде.

Алгоритмы реализованы в программном комплексе с 3 модулями:

- Модуль оптимизации, выполняющий построение индикаторов, расчеты и поиск оптимального набора параметров;
- Модуль тестирования гипотезы, выполняющий запросы исторических данных и расчет доходностей;
- Торговый модуль, позволяющий использовать модуль оптимизации в режиме реального времени и совершать сделки.

Модули взаимодействуют с API и позволяют работать с данными с рынка криптовалют, получать, анализировать информацию и прогнозировать. Возможно создание и тестирование торговых стратегий и визуализация результатов. Архитектура построена по принципам клиент-серверного приложения, а модули способны взаимодействовать между собой.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИНДИКАТОРОВ НА РЫНКЕ КРИПТОВАЛЮТ

Идея оптимизации параметров индикаторов была проверена экспериментально на популярных индикаторах MACD, RSI и MFI [1, 5]. Исследование проводилось на рынках BTC/USD (Биткойн к доллару США) и ETH/USD (Эфириум к доллару США). Исследованы были несколько таймфреймов (3 минуты, 15 минут, 1 час). Результаты включают исследованные данные за сентябрь 2018 – апрель 2021.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты торговой стратегии с использованием индикатора с оптимизацией параметров и сравнение с аналогичными без оптимизации на рынках BTC/USD и ETH/USD.

Таблица 1.

Среднегодовые доходности индикаторов со стандартными параметрами и с оптимизацией с комиссиями на курсе Биткойна к доллару США

		Стандартные параметры	Параметры с оптимизацией
MACD	3 минуты	-1080%	14%
	15 минут	-220%	23%
	1 час	-16%	95%
RSI	15 минут	-58%	97%
	1 час	-32%	101%
MFI	15 минут	-130%	79%
	1 час	-25%	20%

Таблица 2.

Среднегодовые доходности индикаторов со стандартными параметрами и с оптимизацией с комиссиями на курсе Эфириума к доллару США.

		Стандартные параметры	Параметры с оптимизацией
MACD	15 минут	-159%	47%
	1 час	20%	24%
RSI	15 минут	-65%	54%
	1 час	-18%	52%
MFI	15 минут	-100%	11%
	1 час	-14%	68%

Из полученных результатов видно подтверждение обоих предположений. Использование стандартных параметров в 12 из 13 случаев приводит к отрицательной доходности. Большинство стратегий остаются прибыльными, однако, средняя доходность на одну сделку в них чрезвычайно мала. И после вычитания даже минимальных комиссий, стратегии становятся убыточными.

При использовании оптимизации, стратегии становятся прибыльными, а некоторые из них еще и высокоприбыльными. Доходность по 7 из 13 стратегий составляет более 50% годовых. Средняя доходность на одну сделку достигает 1% по некоторым индикаторам. Однако, в ходе более детального изучения выяснилось, что вместе с доходностью растут и

риски. В среднем, среднеквадратичное отклонение месячной доходности растет с 14.5% без оптимизации до 20.2% с оптимизацией. Таким образом, с помощью оптимизации можно добиться высокоприбыльной, но и высококорискованной стратегии.

СВОДНЫЙ ИНДИКАТОР И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Сводный предиктивный индикатор заключается в объединении нескольких индикаторов и их сигналов в один. Основная идея заключается в балансировке индикаторами друг друга. Сводные предиктивные индикаторы активно используются банками, финансовыми институтами и профессиональными участниками рынка. К примеру, швейцарский онлайн-банк Dukascopy использует сводный индикатор, состоящий из 8 индикаторов: MACD, RSI, Stochastic, ADX, CCI, Aroon, SAR, Aligator [6].

Сводный индикатор был построен и экспериментально исследован на рынке BTC/USD. Результаты представлены в таблице 3. В качестве индикаторов-составляющих были использованы индикаторы MACD, RSI и MFI. Параметры данных индикаторов рассчитывались динамически с целью поиска значений, максимизирующих их доходности.

Таблица 3.

Сравнение среднегодовых доходностей сводного индикатора и отдельных индикаторов на курсе Биткоина к доллару США

	Среднегодовая доходность	
	15 минут	1 час
Сводный индикатор	122%	142%
MACD	102%	37%
RSI	109%	113%
MFI	35%	88%

Согласно полученным результатам, сводный индикатор – абсолютный лидер по параметру доходности. Однако, в ходе изучения выяснилось, что несмотря на рост доходности, увеличиваются и риски. Среднеквадратичное отклонение растет с 19% до 22% в среднем. При этом, средняя доходность на одну сделку остается практически неизменной – 0.81% вместо 0.8%.

Таким образом, с помощью агрегирования индикаторов, можно еще дополнительно увеличить доходность к уже оптимизированным индикаторам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы были проверены предположения о низкой доходности стандартных технических индикаторов рынка криптовалют и о

возможностях оптимизации данных индикаторов с целью увеличения доходности торговых сделок. Были изучены возможности формирования агрегированного индикатора на рынке криптовалют. В результате показано, что на рынке криптовалют возможно создавать высокоприбыльные, но при этом и высокорискованные торговые стратегии. Разработанное программное обеспечение позволяет работать с рынком криптовалют и создавать и тестировать торговые стратегии.

Библиографические ссылки

1. Pring, Martin J. Technical analysis explained – McGraw-Hill, 2002 – 642 p.
2. Kirkpatrick, Ch. D., Technical Analysis: The Complete Resource for Financial Market Technicians. / Ch. D. Kirkpatrick, J. R. Dahlquist – FT Press, 2010. p. 548.
3. Малюгин, В.И. Рынок ценных бумаг: количественные методы анализа. / В.И. Малюгин – Москва: Дело, 2003. – 320 с.
4. Шарп У. Ф., Александер Г. Дж., Бейли Дж. В. Инвестиции: пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2001. – XII, 1028 с.
5. Murphy, John J. Technical analysis of the financial markets: a comprehensive guide to trading methods and applications – New York Institute of Finance, 1999 – 572 p.
6. Dukascopy Aggregate Technical Indicator – Dukascopy Bank [Электронный ресурс]: dukascopy.com – Режим доступа: https://www.dukascopy.com/swiss/english/marketwatch/market_news/Dukascopy-Aggregate-Technical-Indicator/81215/

РАЗРАБОТКА НОВОСТНОГО ПОРТАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРЕЙМВОРКА SPRING

М. Р. Чечёткин

Белорусский государственный университет, г. Минск;

frm.chechetk@bsu.by;

науч. рук. – Е. Д. Рафеенко, доц.

Увеличивающийся объём, интерес к информации создают спрос на сервисы, главная цель которых обеспечить простой и быстрый доступ к данным. В последние годы просматривается тренд – персонализация маркетинга. Цель новостного портала – создание информационного пространства, позволяющего людям делиться публикациями любой тематики. Важной частью работы является система рекомендаций, которая призвана улучшить опыт взаимодействия с приложением. Было проведено изучение существующих алгоритмов построения персонализированных и неперсонализированных рекомендаций, а также произведена их адаптация.

В результате проведённой работы был разработан новостной портал, обладающий широким списком возможностей как для создания, так и чтения публикаций.

Ключевые слова: новостной портал; рекомендации; Spring.

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Неотъемлемой частью любой персонализированной рекомендательной системы является матрица предпочтений – матрица, на одной из осей которой находятся объекты, а на другой – пользователи [1]. Некоторые её элементы, являющиеся парой (пользователь, объект) заполнены оценками – показателем заинтересованности, выраженном по заданной шкале, например, от 1 до 10.

Таблица 1

Матрица предпочтений

	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4	Объект 5
Пользователь 1		5		8	
Пользователь 2	1		7		
Пользователь 3				1	7
Пользователь 4		10		4	5
Пользователь 5		4	6	9	
Пользователь 6	5		3		7

Обычно пользователи оценивают лишь малую часть объектов, поэтому матрица может содержать пустые ячейки, свидетельствующие об отсутствии информации о заинтересованности пользователя объектом. Задача

рекомендательной системы – заполнить все пустые ячейки на основе имеющейся информации.

Для построения персонализированных рекомендаций порталом собирается информация о просмотрах и оценках конкретных публикаций.

Отметим, что сбор метрик, необходимых для построения рекомендаций, незначительно сказывается на скорости работы системы. Это достигается при помощи определённых оптимизаций.

Теперь же опишем адаптированный алгоритм использования полученной информации о пользователе для построения рекомендаций.

Прежде всего находится набор посетителей со схожими интересами. Отметим, что пользователь a считается схожим с пользователем b , если первый оценил или же просмотрел определённое число раз некую новость n , которая также была оценена пользователем b . Заметим, что в определении схожести двух посетителей факт просмотра некоторой публикации используется лишь при достижении определённого значения. Это сделано для того, чтобы минимизировать влияние на конечную подборку сценариев, которые не дают никакой информации об интересности публикации для пользователя. Для каждого найденного схожего посетителя высчитывается вес, значение которого прямо пропорционально зависит от оценки.

Матрица предпочтений строится следующим образом: для каждой новости при использовании оценённых схожими пользователями публикаций формируется рейтинг, который является суммой произведений веса посетителя и оценки новости. Если число слагаемых рассмотренной суммы больше минимально допустимого значения, то полученный рейтинг делится на их число. В противном случае рейтинг обнуляется, поскольку для оценки рассматриваемой новости недостаточно информации.

В исходную подборку попадают лишь публикации с ненулевым рейтингом и располагаются в порядке его уменьшения.

НЕПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Базовый алгоритм можно сформулировать следующим образом [2]:

- для заданного объекта n найти строку R в матрице схожести S , соответствующую ей,
- из строки R выбрать множество NR наиболее похожих на n объектов,

Точность рекомендаций зависит лишь от метода определения схожести двух разных объектов. В разработанной системе используется метод ассоциаций.

Для определения схожести двух публикаций используется модифицированный метод вычисления коэффициента Жаккара:

$$J(A, B) = \frac{\frac{|A \cap B|}{|A|}}{\frac{|\bar{A} \cap B|}{|A|}}, \quad (1)$$

где A – множество пользователей, которые просматривали объект a ,
 B – множество пользователей, которые просматривали объект b ,
 \bar{A} – множество пользователей, которые не просматривали объект a .

Отметим, что если объект b очень популярен, то знаменатель в формуле будет достаточно большим, а, значит, значение схожести будет меньше. В данном случае рекомендации будут релевантными.

При построении неперсонализированных рекомендаций используются такие же, как и для персонализированных, метрики: рейтинг и просмотры. Однако, в этом случае алгоритм формирования упрощается. Для каждой новости высчитывается средний рейтинг и учитывается общее число просмотров, если оно превышает минимальное количество. Схожесть публикаций на основе просмотра пользователями определяется по формуле (1). Опять же, фильтрация числа просмотров необходима для включения в подборку только популярных новостей. Причём эта метрика имеет меньший, чем рейтинг, вес и её вклад ограничен. То есть невозможен сценарий, при котором рейтинг публикации стремится к бесконечности при сверхбольшом числе просмотров.

РАЗРАБОТАННОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

В ходе разработки серверной части приложения был использован фреймворк Spring, включая такие структурные элементы как Core, Data, Web MVC, AspectJ, Security [3]. Вся информация, включая используемые при построении рекомендаций метрики, хранится в базе данных PostgreSQL.

Клиентская часть реализована в виде отдельного приложения при помощи библиотеки React.

Особое внимание было уделено защите персональных данных пользователей. Каждый ресурс на сервере защищён и может быть получен лишь при наличии у роли пользователя нужной привилегии. Помимо этого, пароли передаются и хранятся в зашифрованном виде. Соответствующая защита ресурсов реализована и на стороне клиента, что улучшает опыт использования для обычных пользователей.

Новостной портал полностью адаптирован под три языка: русский, английский, французский. Смена происходит путём нажатия соответствующей кнопки в шапке страницу без необходимости перезагрузки.

В разработанном приложении есть два различных типа рекомендаций, которые применяются в зависимости от сценария использования. В случае, когда пользователь авторизован, система будет формировать для него персонализированную подборку на основе его оценок и просмотров, в противном случае – неперсонализированную.

Помимо рекомендательной системы разработанное приложение предоставляет целый ряд дополнительных возможностей как для читателей, так и авторов.

Читатели являются основными потребителями любого новостного портала, поэтому при проектировании приложения особый упор был сделан именно на эту группу.

Общий список новостей представлен в пагинируемом формате, который может быть сконфигурирован конкретным пользователем: возможно изменение числа новостей, отображаемых на одной странице. При этом каждая публикация отображается особым способом, в зависимости от её прочитанности конкретным посетителем. Портал предоставляет возможности поиска новости как по тегам, так и по автору. Помимо этого, на отдельной странице доступны история просмотра новостей, подборка рекомендаций. Каждый пользователь имеет профиль, где может быть получена статистика просмотров новостей и изменена личная информация.

Основным отличием возможностей автора от обычного читателя является допустимость первого создавать и редактировать новости. При необходимости автор может изменить созданную ранее публикацию, причём это действие будет отображено в системе изменением даты последнего редактирования.

Администратор обладает самым широким набором возможностей на портале. Основной его функцией является модерирование всей системы.

Интерфейс пользователя зависит непосредственно от его роли. Например, у администратора появляется панель модерирования, которая отсутствует у других посетителей.

Библиографические ссылки

1. Фальк, К. Рекомендательные системы на практике / К.Фальк; пер. с англ. Д.М. Павлова. – Москва: ДМКПресс, 2020. – 448 с.
2. Recommender Systems Handbook / Ricci [и др.]. – New York: Springer Science + Business Media, 2017. – 842 с.
3. Spring 5 для профессионалов / И. Козмина [и др.]; пер. с англ. И.В. Берштейна. – Санкт-Петербург: ООО “Диалектика”, 2019. – 1120 с.

АНАЛИЗ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕХАНИЗМЫ ВНИМАНИЯ

А.В. Шакель

Белорусский государственный университет, г. Минск;

shakel2000@mail.ru;

науч. рук. – В.И. Отлига, ст. преп.

Задача анализа тональности текстов является важной задачей из сферы автоматической обработки текстов, благодаря ее широкой применимости в практических задачах. Существует множество различных методов и подходов к решению данной задачи, в том числе придуманных и до эры глубокого обучения. В данной работе рассматривается задача бинарной классификации текстовых отзывов о фильмах из базы данных IMDb [1]. В первой части работы проводится сравнение производительности и результатов рекуррентных нейронных сетей с аналогичными архитектурами с использованием механизмов внимания. Во второй части проведено исследование влияния различных приемов при дообучении языковой модели BERT на значения метрик и время обучения сетей.

Ключевые слова: анализ тональности текстов, обработка естественного языка, рекуррентные нейронные сети, механизмы внимания, дообучение модели BERT.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, благодаря развитости интернета и огромному числу пользователей по всему миру, ежедневный поток текстовых данных в сети составляет огромные объемы. Очень часто подобная информация - это прямое выражение предпочтений и интересов пользователей посредством естественного языка. Именно поэтому в эпоху больших данных возможность извлекать информацию из текстов без привлечения человеческого труда чрезвычайно важна.

Немалую роль в извлечении информации из текстовых данных несет *анализ тональности*, под которым понимается выявление в тексте эмоционально окрашенной лексики и эмоциональной оценки автором объектов, о которых идет речь в тексте. Для решения многих задач обработки естественного языка, в том числе и для задачи анализа тональности текстов, достаточно часто применяются *рекуррентные нейронные сети*. Тем не менее у таких сетей есть важный недостаток эффект *забывания*, при котором рекуррентная нейронная сеть постепенно теряет информацию из-за последовательной обработки входных данных. Такие существующие модификации рекуррентных нейронных сетей, как *LSTM* (Long Short-Term Memory) и *GRU* (Gated Recurrent Unit), избавлены от этой проблемы лишь частично.

МЕХАНИЗМЫ ВНИМАНИЯ

Для повышения качества работы таких рекуррентных нейронных сетей, как LSTM и GRU, хорошо подходит использования *механизмов внимания* [2]. При классическом использовании рекуррентных нейронных сетей на вход полносвязного нейросетевого классификатора подается их последний вектор-состояние. Используя механизмы внимания можно модифицировать этот вектор-состояние, используя его как вектор-запрос и посчитав функцию схожести этого вектора со всеми остальными векторами состояний сети. Новый вектор-состояние образуется как линейная комбинация всех состояний сети, взвешенными с коэффициентами, получаемыми с помощью операции *softmax* для посчитанных значений функции схожести. В качестве функции схожести используется скалярное произведение векторов.

Рассматриваемые при сравнении моделей метрики качества – *правильность* (accuracy), *точность* (precision), *полнота* (recall) и *площадь под гог-кривой* (roc-auc). Основная метрика – *правильность*.

В таблице 1 указаны результаты значений метрик для рекуррентных нейронных архитектур на базе LSTM и GRU, а также их модификаций с использованием механизмов внимания.

Таблица 1

Значения метрик до и после применения механизмов внимания (%)

Модель	Правильность	Точность	Полнота	Площадь под гог-кривой
LSTM	85.2	87.9	81.7	92.8
LSTM + внимание	88.9	86.3	92.4	95.5
GRU	85.0	90.7	78.1	93.5
GRU + внимание	88.8	89.7	87.7	95.1

В таблице 2 приведены временные затраты на обучение аналогичных моделей до сходимости и число потребовавшихся эпох.

Таблица 2

Временные затраты на обучение моделей до и после применения механизмов внимания

Модель	Число эпох	Общее время (мм:сс)
LSTM	5	04:15
LSTM + внимание	2	04:21
GRU	4	03:06
GRU + внимание	5	11:45

ДООБУЧЕНИЕ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ BERT

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)[4] – языковая модель с *трансформерной* [3] архитектурой, с помощью которой можно

эффективно решать различные задачи обработки естественного языка. Для задач классификации у BERT есть специальный токен [CLS], которого после прохождения сети BERT используется в качестве входа для полносвязного нейросетевого классификатора. В данной статье используется модель BERT base, состоящая из слоя представлений и 12 слоев трансформеров.

Обучение во всех экспериментах проводится до сходимости, в течение 1-4 эпох, используемый *оптимизатор* – AdamW с *темпом обучения* $2 \cdot 10^{-5}$. Также исследованы различные подходы при дообучении:

- Разморозка различного числа слоев [5] – часть предобученной модели BERT остается неизменной и обучается только ее часть. Проведено сравнение разморозки только классификатора, классификатора и последнего трансформера, классификатора и 6 последних трансформеров, всей сети

- Использование различной максимальной длины текста – BERT поддерживает максимальную длину текста до 512, проведено сравнение результатов для длин 200 и 512.

- Использование линейного планировщика темпа обучения [6, 7] – темп обучения сначала линейно возрастает в течение 10% всех итераций обучения до стандартного значения, а затем линейно убывает в течение оставшихся итераций обучения.

- Дискриминативное дообучение [6, 7] – использование на данном слою сети тем меньшего темпа обучения, чем глубже данный слой в сети. С каждым логическим слоем темп обучения умножается на 0,95.

В таблице 3 приведены значения метрик для всех обученных моделей. В скобках у каждой модели обозначения следующие: 200/512 – максимальная длина текстов, cls/cls+tr/cls+tr6/full – один из четырех способов разморозки соответственно, scheduler – использование планировщика темпа обучения, discr – использование дискриминативного дообучения).

Таблица 3

Значения метрик для дообученных моделей BERT (%)

Модель	Правильность	Точность	Полнота	Площадь под гог-кривой
BERT (200 + cls)	82.8	82.8	82.7	90.7
BERT (200 + cls+tr)	89.6	89.4	89.9	96.2
BERT (200 + cls+tr6)	90.9	92.7	88.9	97.1
BERT (200 + full)	91.0	91.6	90.3	97.1
BERT (512 + full)	93.7	93.3	94.1	98.3
BERT (512 + full + scheduler)	94.0	93.1	95.0	98.4
BERT (512 + full + scheduler + discr)	94.1	93.7	94.5	98.5

В таблице 4 приведены временные затраты на обучения моделей BERT.

Таблица 4

Временные затраты для дообученных моделей BERT

Модель	Число эпох	Общее время (чч:мм:сс)
BERT (200 + cls)	4	00:21:52
BERT (200 + cls+tr)	4	00:24:13
BERT (200 + cls+tr6)	2	00:19:29
BERT (200 + full)	1	00:14:34
BERT (512 + full)	1	01:09:50
BERT (512 + full + scheduler)	2	01:21:20*
BERT (512 + full + scheduler + discr)	2	02:18:55

Примечание. Модель, помеченная символом *, была обучена на более мощной GPU, время обучения на аналогичной другим моделям GPU должно незначительно отличаться от времени обучения последней модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из таблицы 1, использование механизмов внимания для обеих рекуррентных архитектур дает существенный прирост по совокупности метрик, снижая лишь значение полноты. Значительный прирост получает метрика правильность. При этом время, затрачиваемое на одну эпоху, значительно возрастает при использовании механизмов внимания, но может также повлечь более быструю сходимость, как в случае с архитектурой LSTM, за счет чего время обучения вырастет незначительно.

Дообучение языковой модели BERT позволяет достичь очень высоких показателей по всем метрикам. Для максимального качества эффективно размораживать и обучать всю сеть целиком, но даже с разморозкой одного трансформера можно получить достаточно высокое качество. Значительный прирост качества дает использование максимальной длины текстов равной 512, однако в таком случае обучение длится в несколько раз дольше, чем для длины 200. Использование дополнительных приемов при дообучении также положительно влияет на значения метрик и позволяет получить итоговое значение правильности в 94,1%.

Библиографические ссылки

1. Maas, Andrew L. and Daly, Raymond E. and Pham, Peter T. and Huang, Dan and Ng, Andrew Y. and Potts, Christopher Learning Word Vectors for Sentiment Analysis - 2011 - С.142-150.

2. D Bahdanau, K Cho, Y Bengio: Neural machine translation by jointly learning to align and translate //arXiv preprint arXiv:1409.0473 – 2014.
3. Vaswani A. et al. Attention is all you need //arXiv preprint arXiv:1706.03762. – 2017.
4. Devlin J. et al. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding //arXiv preprint arXiv:1810.04805. – 2018.
5. Lee J., Tang R., Lin J. What would elsa do? freezing layers during transformer fine-tuning //arXiv preprint arXiv:1911.03090. – 2019.
6. Howard J., Ruder S. Universal language model fine-tuning for text classification //arXiv preprint arXiv:1801.06146. – 2018.
7. Sun C. et al. How to fine-tune BERT for text classification? //China National Conference on Chinese Computational Linguistics. – Springer, Cham, 2019. – C. 194-206.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБЛАЧНЫХ РЕСУРСОВ

А.В. Шанцов

Белорусский государственный университет, г. Минск;

ShantsovAV@bsu.by;

науч. рук. - Кочин В. П., канд. тех. наук, доц.

Рассмотрено влияние облачных вычислений на информационную безопасность информационных ресурсов при их переносе или развертывании на облачных платформах. Определена актуальность проблемы защиты информационных ресурсов, размещенных на облачных платформах, в том числе и для Республики Беларусь. Выделены основные особенности облачных вычислений, влияющие на защищенность информационных ресурсов, такие как: модель совместной ответственности провайдера и клиентов облака по обеспечению информационной безопасности; необходимость в защите среды виртуализации и изоляции виртуальных ресурсов клиентов облака; необходимость доработки архитектур ресурсов и средств безопасности для их функционирования в облачной среде; необходимость налаженного взаимодействия между провайдером и клиентами облака при организации аудита и реагировании на инциденты. Предложены общие подходы по реализации комплексной системы защиты информации облачных ресурсов.

Ключевые слова: информационные технологии; информационная безопасность; облачные вычисления.

ПРИЧИНЫ ПЕРЕХОДА К ОБЛАЧНЫМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ И АКТУАЛЬНОСТЬ ДАННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В основу облачных вычислений положена модель совместного использования ресурсов (аппаратного и программного обеспечения) центров обработки данных (далее – ЦОД). Данная модель имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с моделью традиционных вычислений:

- Существенное снижение затрат. По сравнению с развертыванием собственных ЦОД каждой организацией в отдельности, использование облачных вычислений позволяет клиентам облака использовать и оплачивать только необходимые им ресурсы. Такая гибкость при аренде вычислительных ресурсов обеспечивает существенную экономию средств.
- Передача части ответственности по защите ресурсов облачному провайдеру.
- Возможность использовать средства защиты информации (далее – СЗИ) облачного провайдера вместо развертывания собственных.
- Возможность передачи на аутсорсинг облачному провайдеру обслуживания СЗИ ресурса (услуги).

Помимо экономических эффектов и возможностей по использованию СЗИ облачных провайдеров, в Республике Беларусь для государственных организаций нормативными правовыми актами определены требования по размещению информационных ресурсов, в том числе и на облачных платформах [1].

Тем не менее, облачные вычисления, из-за своих особенностей, вместе с преимуществами вносят повышенные риски информационной безопасности и более ограниченную возможность управления ресурсами. Для нивелирования данных рисков, система защиты информации облачных ресурсов должна учитывать особенности облачных вычислений [2].

ОСОБЕННОСТИ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНФОРМАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСУРСОВ

1. Наличие «третьей стороны» – облачного провайдера. Наличие облачного провайдера является одной из основных особенностей в облачных вычислениях, которая изменяет модель распределения ответственности по обеспечению информационной безопасности ресурсов и приводит к переходу к модели совместной или распределенной ответственности. Однако, несмотря на то что облачные провайдеры берут на себя часть ответственности по обеспечению защиты информационных ресурсов, клиенты облачных вычислений несут ответственность за сохранность данных своих пользователей и за определение необходимых СЗИ для обеспечения безопасности их ресурсов [3].

2. Необходимость изменения (доработки) архитектуры приложения (услуги). Перенос информационного ресурса (приложения, сервиса) в облако, с сохранением его прежней архитектуры, негативно скажется на его степени защищенности. Архитектуры сервисов, приложений, не рассчитанных на облачные вычисления, как правило, являются более уязвимыми при их размещении в облаке [4, с 108-118].

3. Функционирование традиционных СЗИ в облаке. Данная особенность связана с тем, что без адаптации традиционных СЗИ под модель облачных вычислений их функционирование в облаке не будет отвечать необходимым критериям [4, с 77-90].

4. Совместное использования физических ресурсов. Из-за постоянного перераспределения физических ресурсов (память, накопители, процессоры) в облаке возникают угрозы утечки информации. В дополнение к этому, ресурсы отдельных клиентов могут быть использованы для противоправных действий в отношении других клиентов этой же платформы [4, с 91-99].

5. Платформа виртуализации. Гипервизор – основа виртуализации, обеспечивающая разделение ресурсов аппаратной платформы между виртуальными машинами (далее – ВМ). Вмешательство в работу гипервизора может привести к несанкционированному захвату ресурсов ВМ, перехвату сетевого трафика, похищению ВМ при их миграции.

6. Перенос данных в облако. В большинстве случаев перенос данных в облако не будет осуществляться в ручном режиме. Потенциальная угроза заключается в ненадежном и/или неправильно сконфигурированном механизме переноса данных клиентов в облако.

7. Аудит и реагирование на инциденты. По сравнению с традиционными вычислениями, облако существенно снижает способность клиентов осуществлять аудит. Аналогичная ситуация складывается при реагировании на инциденты [4, с 57-59, 101-107].

8. Вопросы юрисдикции. При использовании облачных услуг данные клиентов могут обрабатываться в иностранных юрисдикциях. В связи с этим возникает ряд вопросов по доступности данных, возможности их раскрытия третьим сторонам и т.д. [5]

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОСТРОЕНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБЛАЧНЫХ РЕСУРСОВ

1. Определить архитектуру системы защиты информации облачных ресурсов. Выполнить оценку рисков для развертываемого информационного ресурса (услуги) и определить все необходимые СЗИ. Изучить СЗИ, предоставляемые облачным провайдером и определить перечень СЗИ, которые должны быть реализованы дополнительно. В случаях невозможности исключения всех возможных рисков, принять меры по управлению ими (например, страхование).

2. Изменить архитектуру ресурсов (приложений, услуг) для функционирования в облаке. Реализовать мониторинг активности в использовании интерфейсов приложений. Расширить внутренние возможности ресурса по аудиту. Использовать возможности облачных вычислений для повышения доступности ресурсов (распределенное хранилище, распределенные вычисления и др.).

3. Использовать сертифицированные/стандартизированные облачные платформы. Проверить наличие у облачного провайдера сертификатов (аттестатов) соответствия регулирующим техническим нормативным правовым актам и передовым практикам в области защиты информации.

4. Применять по возможности криптографические алгоритмы (шифрование) при хранении и передаче данных.

5. Наладить взаимодействие с облачным провайдером по проведению аудита и при реагировании на инциденты.

6. Узнать, по возможности согласовать, с провайдером юрисдикцию в которой будет размещен ресурс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время облачные вычисления нашли широкое применение в различных сферах деятельности. Облачные вычисления открывают перед пользователями ряд существенных преимуществ, среди которых особенно выделяются сокращение затрат на развертывание информационных ресурсов и предоставление широких возможностей по повышению их защищенности (доступности).

Однако надежное обеспечение безопасности информационных ресурсов (приложений, услуг) становится возможным лишь в случае правильного построения системы защиты информации. Проблема построения надежной системы защиты информации является сложной и требует комплексного подхода к ее решению. Только в случае учета всех особенностей, вносимых облачными вычислениями, становится возможным создание надежной системы защиты информации облачных ресурсов.

Библиографические ссылки

1. Указ Президента Республики Беларусь от 23.01.2014 № 46 «Об использовании государственными органами и иными государственными организациями телекоммуникационных технологий» с изменениями, утвержденными Указами Президента Республики Беларусь от 31.12.2015 № 542, от 16.12.2019 № 461.
2. National Institute of Standards and Technology, Special Publication 500-292 «Cloud Computing Reference Architecture».
3. National Institute of Standards and Technology, Special Publication 500-299 «Cloud Computing Security Reference Architecture».
4. Cloud Security Alliance. Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing.
5. Шекель Н.В. Юридические аспекты использования облачных технологий // Журнал международного права и международных отношений. 2014. Т. 4(71): 3-7.

АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТА

И. В. Шишляников

Белорусский государственный университет, г. Минск;

ivan.shishlyannikov@gmail.com;

науч. рук. – М. И. Давидовская, ст. преп.

В данной статье рассматриваются различные способы генерации трехмерного ландшафта. В проведенном исследовании основное внимание уделено анализу алгоритмов генерации ландшафта, а также программных средств для их визуализации и использования в промышленной разработке. Определены критерии, подтверждающие эффективность рассматриваемых алгоритмов. В статье представлена классификация ландшафтов и для каждого класса ландшафта предложены алгоритмы его генерации с учетом критериев эффективности. Так же были выведены метрики для описания свойств приведённых алгоритмов. Выбраны программные средства для реализации генерации ландшафта, а также его визуализации (рендеринга). В результате анализа и комбинирования различных способов генерации ландшафта был разработан программный модуль, осуществляющий создание ландшафта и интегрируемый с различными средами разработки приложений трехмерной графики. В отличие от других работ в данном направлении в данной статье анализ результата работы программного модуля осуществляется не только за счёт визуального представления и его восприятия пользователем модуля, но и за счёт выведенных метрик оценки эффективности, точность которых была так же доказана в данной статье.

Ключевые слова: ландшафт; карта высот; Blender; фрактал; визуализация; рендеринг.

ВВЕДЕНИЕ

В игровой индустрии, в сфере роботостроения и в других областях, использующих моделирование реального мира, одной из ключевых задач является создание условий окружающей среды, максимально приближённых к реальным. Одним из таких условий является ландшафт мира или некоторого его участка.

Ландшафт должен, с одной стороны, быть максимально подобен реальным ландшафтам в природе, а с другой – подходить под нужды решаемой задачи, например, не иметь участков ниже уровня моря или не иметь крутых склонов и т. д.

Предложенное в данной статье решение рассматривается как эффективное решение с точки зрения отношения сложности реализации, времени исполнения и реалистичности генерируемых ландшафтов.

Генерация ландшафта применима при разработке приложений, симулирующих взаимодействие с окружающей средой, и, в частности, в программной реализации различных симуляторов управления транспортными средствами. С учетом значимости проблемы генерации ландшафта,

совпадающего с природной средой, выполненная в рамках статьи, работа, является актуальной.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является создание системы (модуля), позволяющей процедурно генерировать ландшафты, максимально приближённые к ландшафтам объектов из природы, и определение критериев, подтверждающих реалистичность сгенерированных ландшафтов. Программный модуль должен поддерживать интеграцию с различными средами разработки трехмерной графики.

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ

- Для генерации ландшафта использовался язык Python.
- Для визуализации сгенерированного ландшафта использовалась среда Blender 3D.
- Цифровое представление сгенерированного ландшафта сохраняется в виде нормализованной карты высот в форматах .PNG и .RAW.

АЛГОРИТМЫ ГЕНЕРАЦИИ ЛАНДШАФТА

За основу алгоритмической базы были взяты следующие алгоритмы:

1. Шум Перлина.
2. Диаграммы Вороного.
3. Diamond-square.
4. Термическая эрозия.
5. Гидравлическая эрозия.

Алгоритмы 1-3 заполняют карту высот с помощью случайной последовательности, после чего происходит интерполяция между значениями карты высот. В зависимости от выбранного алгоритма и входных параметров изменяется функция интерполяции, порождая различную форму рельефа, например равнины или скалы [1]. Была реализована возможность комбинирования нескольких алгоритмов для компенсации недостатков одного алгоритма преимуществами другого.

Алгоритмы 4 и 5 оперируют существующей картой высот и создают эффект, равносильный природной эрозии, независимо от входной карты высот. Данные алгоритмы являются итерационными, что позволяет гибко регулировать точность и время работы симуляции эрозии [2].

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ И КРИТЕРИИ РЕАЛИСТИЧНОСТИ

Для более точного определения критериев реалистичности все возможные ландшафты были разделены на 2 класса, а именно «равнины» и «горы». Для каждого из классов были выведены отдельные критерии реалистичности. Для определения критерия реалистичности использовались два параметра сгенерированного ландшафта, а именно матожидание E (среднее значение высоты точек) и среднеквадратическое отклонение σ (среднее значение квадрата отклонения высот точек от средней высоты) [3]. Будем считать, что карта высот ландшафта всегда нормализована. Независимо от рассматриваемого класса ландшафта параметры E и σ должны удовлетворять следующим условиям:

1. $E < 1$, так как это будет гарантировать отсутствие бесконечного набора подряд идущих резких склонов (игл).
2. $\sigma \neq 0$, так как это будет гарантировать отсутствие абсолютно плоских поверхностей.

Для класса «равнины» должны выполняться следующие условия:

1. E стремится к нулю, чтобы минимизировать наличие скал.
2. σ стремится к единице, чтобы повысить количество неровностей (бугров, оврагов и т. д.).

Для класса «горы» должны выполняться следующие условия:

1. E стремится к 0,5, чтобы гарантировать наличие впадин и высоких пиковых точек.
2. σ стремится к нулю, чтобы гарантировать наличие большинства точек вблизи значения 0,5, что будет соответствовать низменностям вблизи гор.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ

Таблица

Параметры ландшафтов, сгенерированных с помощью основных алгоритмов

Алгоритм	Матожидание	Среднеквадратическое отклонение
Diamond -square	0,499	0,12
Шум Перлина	0,99	0,23
Диаграммы Вороного	0,18	0,16

Из приведённой таблицы и выведенных критериев следует, что для генерации гор лучше всего подходит Diamond-square алгоритм (рисунок 1), а для генерации равнин – диаграммы Вороного (рисунок 2). Шум Перлина

не подходит ни для одного из классов ландшафта, но он может использоваться для, например, размывания различных карт высот при комбинировании с другими алгоритмами.



Рис. 1. Рифы, сгенерированные с помощью Diamond-square алгоритма



Рис. 2. Пустыня, сгенерированная с помощью диаграмм Вороного и термической эрозии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были рассмотрены и исследованы основные алгоритмы генерации ландшафта и их комбинации для расширения класса решаемых задач.

Были выведены и проверены на практике критерии реалистичности ландшафта в соответствии с выделенными классами. На основании данных критериев были выбраны наилучшие комбинации алгоритмов для решения задач генерации ландшафтов определённых классов.

Созданный программный модуль может работать автономно, предоставляя полный функционал генерации и визуализации ландшафта. Поддерживает интеграцию как отдельный модуль для популярных сред работы с трехмерной графикой, таких как Blender 3D и Unreal Engine.

Библиографические ссылки

1. Matthias [Electronic resource] / An integrated environment for generation realistic landscapes — Mode of access: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/2041-210X.13076>
2. Gabriel Costa Backes [Electronic resource] / Real-Time Massive Terrain Generation using Procedural Erosion on the GPU — Mode of access: <https://www.sbgames.org/sbgames2018/files/papers/ComputacaoShort/188264.pdf>
3. Jacob Olsen [Electronic resource] / Realistic landscape generation — Mode of access: <https://web.mit.edu/cesium/Public/terrain.pdf>

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КОНФОКАЛЬНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ «NANOFINDER HE»

Борисевич А.А.

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
anastliz@mail.ru;
науч. рук. - Казючиц Н.М., заведующий НИЛ ВИИФД*

Посредством перемещения гетероструктуры AlN/Al₂O₃ относительно точки фокусировки светового пучка, возбуждающего комбинационное рассеяние света и фотолюминесценцию, определены размеры области формирования сигнала в конфокальном спектрометре Nanofinder HE. Для излучения с длиной волны 532 нм и объектива с числовой апертурой 0,95 эти размеры составили около 1,4 мкм поперек и около 2,0 мкм вдоль оси светового пучка.

Ключевые слова: комбинационное рассеяние света; фотолюминесценция; конфокальный спектрометр; Nanofinder HE; область формирования сигнала.

ВВЕДЕНИЕ

Метод комбинационного рассеяния света (КРС) в сочетании с конфокальным сканирующим микроскопом может быть использован для получения изображений неоднородных объектов, различающихся структурой спектра КРС и/или фотолюминесценции (ФЛ) от точки к точке. Пространственное разрешение метода сопоставимо с длиной волны. Данный метод также может быть использован для определения размеров слоистых систем, выращенных на подложках или созданных имплантацией высокоэнергетических ионов. Качество изображений и точность определения размеров будут зависеть от размеров области формирования сигнала. Для оценки размеров этой области часто используют рассчитанные значения диаметра и глубины фокуса возбуждающего излучения. Чтобы определить размеры области формирования сигнала в установке «Nanofinder HE» мы измеряли спектры КРС и ФЛ при сканировании возбуждения через границу раздела между двумя прозрачными веществами и строили распределения интенсивности основных линий КРС/ФЛ.

Цель работы – сравнить рассчитанные и экспериментально измеренные значения размеров области формирования сигнала КРС/ФЛ в установке «Nanofinder HE».

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

В экспериментах использовали гетероструктуры, состоящие из пленок нитрида алюминия (AlN), выращенных на подложках оксида алюминия (Al₂O₃). Гетероструктуры были склеены в сборки попарно «пленка к пленке». Поперечные сечения сборок были подготовлены с использованием механической шлифовки и полировки. На рисунке 1 приведена оптическая микрофотография поперечного сечения в окрестности границы раздела двух склеенных гетероструктур. Пленка AlN на рисунке 1 имеет светло-серую окраску. Толщина пленки составляла около 1,1 – 1,2 мкм, заполненный клеем зазор между образцами – около 0,2 мкм.

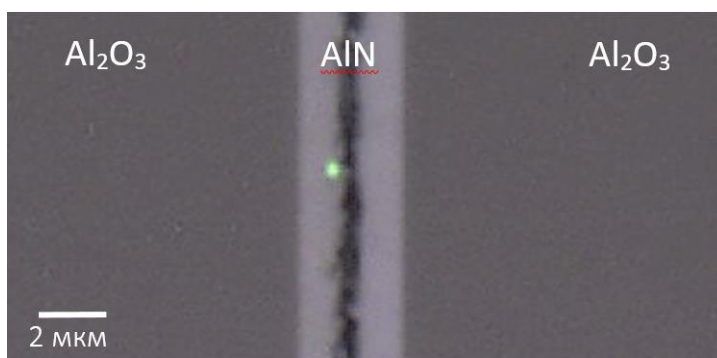


Рис. 1 — Микрофотография двух гетероструктур в окрестности границы раздела

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

На рисунке 2а приведена схема, иллюстрирующая принцип определения размеров области формирования сигнала, основанный на регистрации распределения интенсивности КРС/ФЛ. При переходе возбуждающего излучения через границу раздела между Al₂O₃ и нитридом алюминия AlN (рисунок 2б) интенсивность КРС/ФЛ от одной из фаз будет монотонно уменьшаться от некоторого максимального значения до нуля, а для другой фазы, наоборот, будет увеличиваться от нуля до максимального значения. Поперечный размер области формирования сигнала в этом случае будет численно равен расстоянию между максимальным и минимальным значениями интенсивности сигналов КРС/ФЛ. Аналогичным образом, но сканируя возбуждение перпендикулярно плоскости гетероструктуры, может быть определен продольный размер области формирования сигнала вдоль оси светового пучка (рисунок 2в).

Предложенный метод определения размеров был апробирован для возбуждающего излучения с длиной волны 532 нм и 100^x фокусирующего объектива с числовой апертурой 0,95 [1]. Размер входной щели спектрометра равнялся 25 мкм. Все измерения проводили при комнатной температуре.

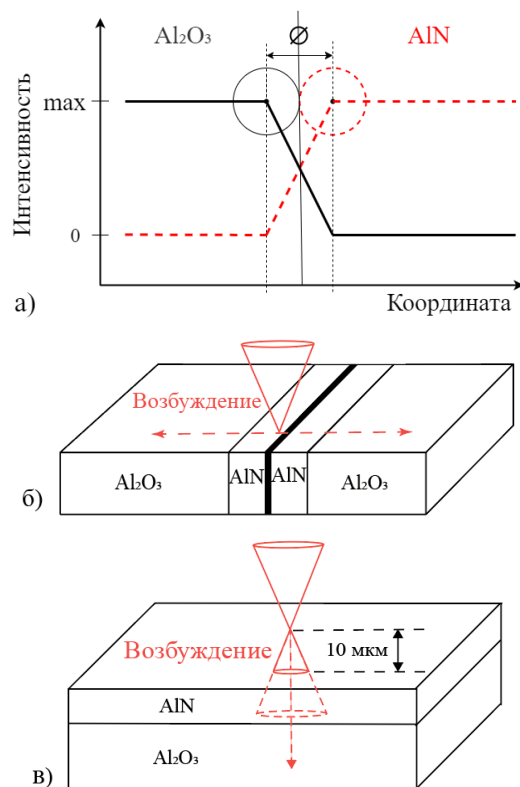


Рис. 2 — Схема определения размеров области формирования сигнала (а), схема сканирования возбуждения для поперечного сечения гетероструктуры (б), перпендикулярно плоскости гетероструктуры (в)

Шаг сканирования поперек границы раздела гетероструктуры выбрали равным 0,2 мкм. Протяженность сканирования составляла 6 мкм по обе стороны от границы склеенных образцов. Перед началом сканирования перпендикулярно плоскости гетероструктуры сфокусированное излучение находилось на 10 мкм выше поверхности образца, протяженность сканирования в образце составляла 15 мкм, шаг – 0,5 мкм.

В результате сканирования было получено семейство спектров КРС/ФЛ. Для наиболее интенсивных линий строили распределение их интенсивности в зависимости от положения образца относительно точки фокуса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 показаны распределения интенсивности сигналов КРС/ФЛ для сканирования поперечного сечения гетероструктуры и сканирования перпендикулярно её плоскости. Применяя описанный в методике измерений подход к приведенным на рисунке 3 распределениям интенсивности линий КРС/ФЛ, определили экспериментальные значения области формирования сигнала в микрорамановском спектрометре Nanofinder High End, которые составили около 1,2 -1,4 мкм поперек и около 2,0 мкм вдоль оси светового пучка.

Рассчитанные значения диаметра и глубины фокуса были получены с использованием выражений, взятых из [2]:

$$D = 1,22 \lambda / (NA) \quad (1),$$

$$DOF = 4 \lambda / (NA)^2 \quad (2),$$

где D – минимальный поперечный диаметр фокуса, DOF – глубина фокуса, λ – длина волны возбуждения, NA – числовая апертура объектива.

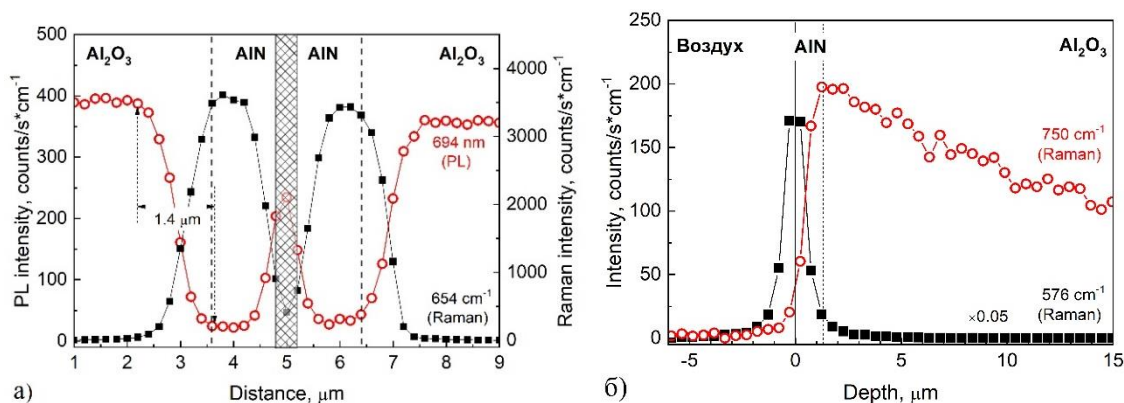


Рис. 3 — Распределения интенсивности сигналов КРС/ФЛ при сканировании возбуждающего излучения поперек гетероструктуры (а) и вглубь перпендикулярно поверхности гетероструктуры (б)

Рассчитанное значение диаметра фокуса D почти в два раза меньше экспериментально полученного значения поперечного размера области формирования сигнала и составило 0,68 мкм. Рассчитанная глубина фокуса $DOF = 2,35$ мкм имеет близкое значение с продольным размером области формирования сигнала, полученным экспериментально.

Библиографические ссылки

1. Борисевич, А. А. Размеры области формирования сигнала в микрорамановском спектрометре «Nanofinder HE» / А. А. Борисевич, О. В. Королик, В. Н. Казюциц, Н. М. Казюциц // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы шестой Международной научно-практической конференции (г. Минск, 20 – 21 мая 2021 г.) / редкол.: В. И. Попечиц (главный редактор), Ю. И. Дудчик, Г. А. Сенкевич – Минск: БГУ, 2021. – С. 10–12.
2. Скворцов Г.Е., Панов В.А., Поляков Н.И., Федин Л.А. Микроскопы. – Л.: Машиностроение, 1969. – 512 с.

ВЕЙВЛЕТ-НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

К. А. Ефимов

Белорусский государственный университет, г. Минск;

efimov_kk@mail.ru;

науч. рук. – Э. А. Чернявская. д-р физ.-мат. наук, проф.

В данной работе рассматривается классификация мультиспектральных и гиперспектральных изображений. Для данной задачи применяются вейвлет-нейронные сети глубокого обучения с анализом различных типов вейвлетов. Проведен анализ результатов классификации мультиспектрального изображения, на основе чего определен вейвлет, показывающий лучшую точность. Таким оказался МНАТ вейвлет с точностью 99,03% на обучающем наборе и 99,07% на тестовом. При классификации гиперспектральных изображений был применен алгоритм, позволяющий улучшить результаты классификации, за счет совместного использования спектральных и пространственных признаков. Представлено сравнение результатов классификации с применением данного алгоритма и без него. Лучший результат для двух гиперспектральных изображений был получен с применением данного алгоритма, а также МНАТ вейвлета. Для изображения Salinas точность на обучающем наборе – 97,50%, а на тестовом – 96,19%. Для изображения Pavia University точность на обучающем наборе – 99,03%, а на тестовом – 97,73%.

Ключевые слова: мультиспектральные изображения; гиперспектральные изображения; вейвлет-нейронные сети; глубокое обучение; классификация.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается задача классификации, которая является одной из самых актуальных задач обработки мультиспектральных и гиперспектральных изображений. Для их классификации применяются различные методы, относящиеся к дисциплине машинного обучения [1,2]. В последнее время, все большую популярность завоевывают нейросетевые методы классификации, использующие сверточные нейронные сети глубокого обучения [3]. Цель работы заключается в анализе результатов классификации мультиспектральных и гиперспектральных изображений при использовании различных вейвлетов на основе использования вейвлет-нейронной сети глубокого обучения.

КЛАССИФИКАЦИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИИ

Архитектура вейвлет-нейронной сети базируется на архитектуре глубокой нейронной сети, однако, в отличие от последней, в ней, в качестве

функции активации используются вейвлеты [4,5]. Для классификации использовалось изображение superballs_ms, CAVE Laboratory. Данное изображение было размечено, к данным применено масштабирование, а также исходный набор данных случайным образом был разделен на обучающий и тестовый наборы. В качестве оптимизатора в нейронной сети использовался градиентный спуск, функция ошибок – перекрестная энтропия, а функция активации выходного слоя Softmax. Количество скрытых слоев – 3 (300, 150, 50 нейронов соответственно). Размер батча – 5000, а количество эпох – 20. В качестве оценки модели используется точность - доля правильно классифицированных объектов. Результаты классификации, а также используемые вейвлеты представлены в таблице 1 (первое число – точность на обучающем наборе, второе – точность на тестовом наборе).

Таблица 1

Результаты классификации мультиспектрального изображения

Вейвлет	Формула	Точность
МНАТ вейвлет	$\psi(t) = (1 - t^2) e^{\frac{-t^2}{2}}$	0,9903; 0,9907
Вейвлет Морле	$\psi(t) = \cos(1.75t) e^{\frac{-t^2}{2}}$	0,9902; 0,9896
Вейвлет Гаусса	$\psi(t) = \frac{t}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-t^2}{2}}$	0,9451; 0,9459
Вейвлет Мейера	$\psi(t) = 35t^4 - 84t^5 + 70t^6 - 20t^7$	0,6991; 0,7017
Вейвлет Шеннона	$\psi(t) = \left(\sin\pi\left(t - \frac{1}{2}\right) - \sin 2\pi\left(t - \frac{1}{2}\right) \right) / \pi\left(t - \frac{1}{2}\right)$	0,6997; 0,6993

Лучшие результаты показывают МНАТ вейвлет и вейвлет Морле, которые существенно лучше вейвлета Гаусса. При использовании вейвлетов Мейера и Шеннона нейронные сети фактически не обучаются: все пиксели классифицируются одинаково, а веса модели не изменяются при обучении.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

При классификации гиперспектральных изображений были использованы изображения Salinas и Pavia University. Применялись только вейвлеты МНАТ и вейвлет Морле. Также для МНАТ вейвлета был применен алгоритм, который позволяет получить и использовать при классификации дополнительные признаки, несущие в себе пространственную информацию об изображении (МНАТ SF). На рисунке 1 изображены все стадии классификации гиперспектрального изображения.

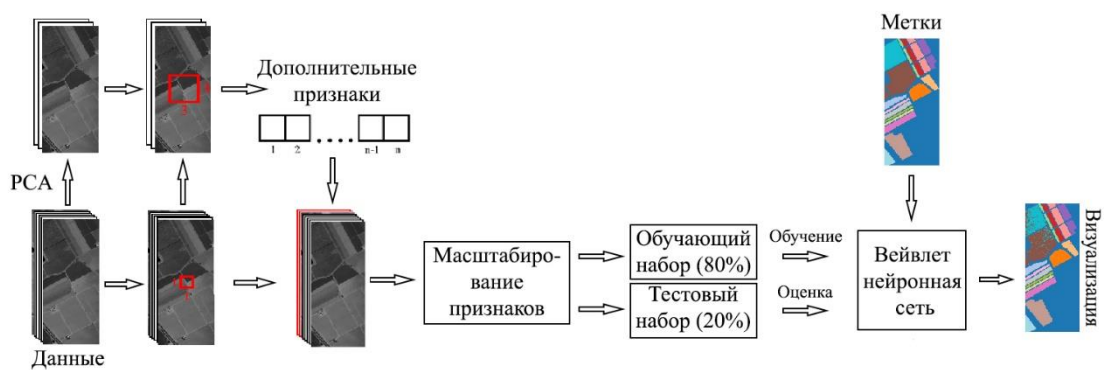


Рис. 1. Стадии классификации гиперспектрального изображения

По сравнению с классификацией мультиспектрального изображения изменилось количество эпох – 35, и размер батча – 50. Остальные параметры остались прежними. В таблице 2 приведены результаты классификации, а на рисунке 2 визуализация результатов.

Таблица 2

Результаты классификации гиперспектральных изображений

Изображение	МНАТ вейвлет	Вейвлет Морле	МНАТ SF
Salinas	0,9575; 0,9456	0,9577; 0,9468	0,9750; 0,9619
Pavia University	0,9729; 0,9623	0,9719; 0,9632	0,9903; 0,9773

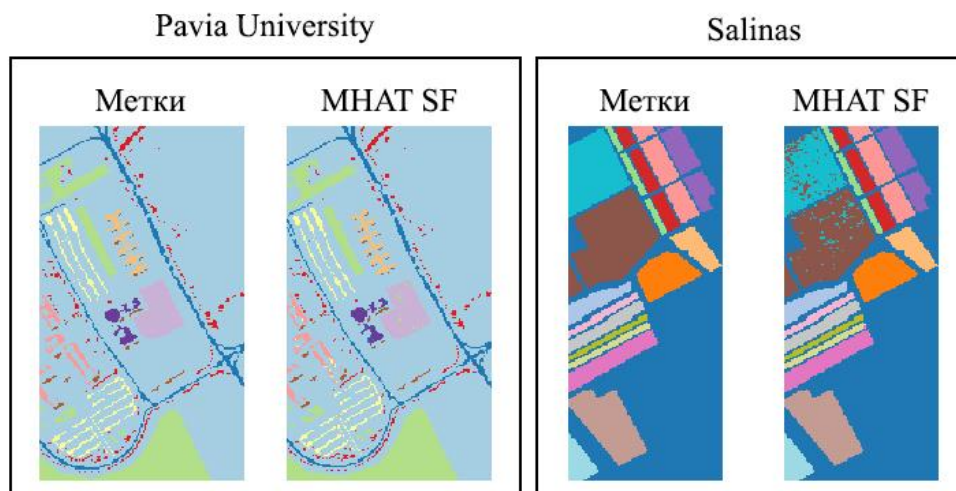


Рис. 2. Визуализация результатов классификации гиперспектральных изображений

Таким образом, использование дополнительных признаков позволяет улучшить точность в среднем на 1,5%. Лучшие результаты получены с использованием вейвлета МНАТ: 99,03% и 99,07% для мультиспектрального изображения, 97,50% и 96,19% для изображения Salinas, 99,03% и 97,73% для изображения Pavia University. Вейвлет-нейронные сети являются перспективным направлением глубокого обучения, которые могут быть использованы для задач классификации данных больших объемов.

Библиографические ссылки

1. Yuliya Tarabalka, Mathieu Fauvel, Jocelyn Chanussot, Jon Atli Benediktsson // SVM and MRF-Based Method for Accurate Classification of Hyperspectral Images [Электронный ресурс]. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00578864/document> (дата обращения: 21.05.2021).
2. Wenjing Lv, Xiaofei Wang // Overview of Hyperspectral Image Classification [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hindawi.com/journals/js/2020/4817234/> (дата обращения: 21.05.2021).
3. Chunyan Yu, Rui Han, Meiping Song, Caiyu Liu, Chein-I ChangWang // A Simplified 2D-3D CNN Architecture for Hyperspectral Image Classification Based on Spatial–Spectral Fusion [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9078778> (дата обращения: 23.05.2021).
4. Gaige Wang, Lihong Guo, Hong Duan // Wavelet Neural Network Using Multiple Wavelet Functions in Target Threat Assessment [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/632437/> (дата обращения: 21.05.2021).
5. Zulqurnain Sabira, Hafiz Abdul Wahaba, Muhammad Umara, Mehmet Giyas Sakarb, Muhammad Asif Zahoor Raja // Novel design of Morlet wavelet neural network for solving second order Lane–Emden equation [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/338838389_Novel_design_of_Morlet_wavelet_neural_network_for_solving_second_order_Lane-Emden_equation (дата обращения: 25.05.2021).

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА Ag-СОДЕРЖАЩИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

А.А.Зглюй

*Белорусский государственный университет, Минск;
alesyazglyuy@gmail.com;
науч. рук. – М. С. Тиванов, канд. физ.-мат. наук, доц.*

Тонкие пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ были синтезированы методом распылительного пиролиза с последующим отжигом в диапазоне температур 425 – 525°C и легированы Ag. Элементный и фазовый состав, а также микроструктура, были исследованы с помощью рентгеноспектрального микроанализа, рентгенодифракционного анализа, сканирующей зондовой микроскопии и растровой электронной микроскопии для установления влияния Ag и температуры отжига на структурные свойства $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$.

Ключевые слова: пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$; спрей-пиролиз; структура; морфология.

ВВЕДЕНИЕ

Среди тонкопленочных фотоактивных материалов прямозонный полупроводник p-типа $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ является одним из наиболее перспективных благодаря высокому значению коэффициента оптического поглощения вблизи края поглощения (10^4 см^{-1}), оптимальной ширине запрещенной зоны 1,45 эВ, а также нетоксичности и широкому распространению в природе входящих в состав элементов [1].

При синтезе полупроводниковых пленок недорогим методом спрей-пиролиза их состав можно достаточно просто контролировать, изменяя состав используемого раствора прекурсора, а легирование Ag является эффективным способом изменения плотности носителей $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ и подавления вредных антиструктурных дефектов, таких как Zn_{Cu} [2].

В данной работе исследовались структурные свойства пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, полученных методом спрей-пиролиза, легированных Ag с концентрациями 0%, 1.2%, 1.9%, 2.9% и отожженных при температурах ($T_{\text{отж}}$) 425°C, 475°C, 525°C.

МЕТОДИКА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Осаждение Ag-содержащих пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ на покрытые молибденом подложки SLG проводилось методом спрей-пиролиза при температуре 270 – 280°C в атмосфере CO_2 , что исключает реакции окисления компонентов кестерита и молибдена во время пиролиза. Для улучшения кристаллического качества пленок отжиг проводился в атмосфере S при температурах 425°C, 475°C и 525°C в течение 30 мин.

Структурные параметры пленок определялись с помощью дифрактометра Ultima IV (Rigaku) в геометрии скользящего падения рентгеновского излучения (1°) с источником излучения $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 0,154178$ нм). Морфология поверхности исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа S-806 (Hitachi), элементный состав определялся с помощью приставки CAMECA SX 100. Параметры шероховатости поверхности определялись с использованием сканирующего зондового микроскопа Solver Nano (NT-MDT) в полуконтактном режиме с радиусом острия зонда ~ 10 нм и резонансной частотой 227 кГц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Сначала были рассмотрены пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ без легирования Ag, подвергшиеся отжигу при различных температурах.

По результатам рентгенодифракционного анализа (РДА) были найдены плоскости ориентирования зерен: наиболее интенсивные линии соответствуют плоскостям (112), (220) и (312). Пленки кристаллизуются в кестеритовой фазе $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (рис.1) и не имеют пустот, трещин и отверстий (рис.1, вставка) [3].

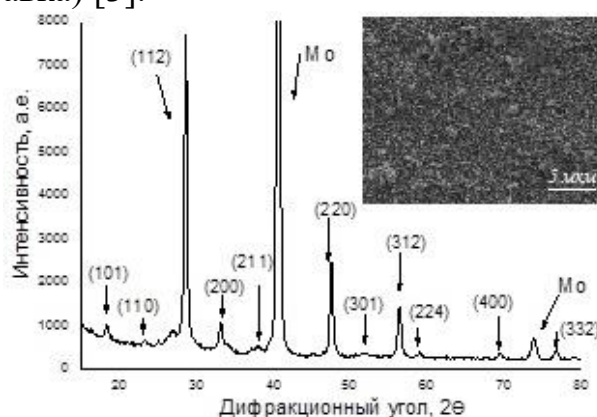


Рис. 1. Дифрактограмма и РЭМ-снимок (вставка) пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ без легирования при $T_{\text{отж}} = 525^\circ\text{C}$.

По данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), растровой электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), а также РДА были найдены такие величины, как отношение содержания металлов к халькогену, область когерентного рассеяния L , межплоскостное расстояние d , параметры кристаллической решетки a , c , средние размеры зерен, среднеквадратичная арифметическая высота S_y и асимметрия R_{sk} пленок. Результаты представлены в таблице 1.

Соотношение металлов к халькогену приближается к стехиометрии по мере возрастания $T_{\text{отж}}$. С ростом $T_{\text{отж}}$ увеличивается область когерентного рассеяния, что говорит об улучшении качества образцов. Существенных

изменений межплоскостного расстояния, параметров решетки и среднего размера зерен, а также четкой зависимости шероховатости и топографии поверхности от параметров отжига не наблюдается.

Таблица 1.

Структура и морфология $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ без легирования

$T_{\text{отж}}$, °C	Стехиометрическое соотношение $(\text{Cu}+\text{Zn}+\text{Sn})/\text{S}$	L, нм	d, Å	a, Å	c, Å	Средняя арифметическая высота S_y , нм	Асимметрия R_{sk}	Средние размеры зерен, мкм
20	1,59	7,4	3,117	5,400	10,798	2495	0,752	0,28
425	1,21	9,7	3,120	5,404	10,808	1926	0,911	0,31
475	1,27	10,2	3,120	5,404	10,808	2162	1,603	0,25
525	1,06	17,9	3,121	5,406	10,811	1042	0,377	0,32

Наилучшую морфологию (минимальный показатель асимметрии) и наименьшую шероховатость поверхности (показатель средней арифметической высоты), а также наибольшую область когерентного рассеяния и самое близкое к 1 соотношение металлов к халькогену имеют пленки при $T_{\text{отж}} = 525^\circ\text{C}$. Поэтому рассмотрим данные образцы для нахождения структурных и морфологических зависимостей синтезированных пленок от степени легирования Ag.

На рисунке 2 представлены дифрактограмма и РЭМ-снимок (вставка) пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ при $T_{\text{отж}} = 525^\circ\text{C}$ и концентрации Ag 1.2%.

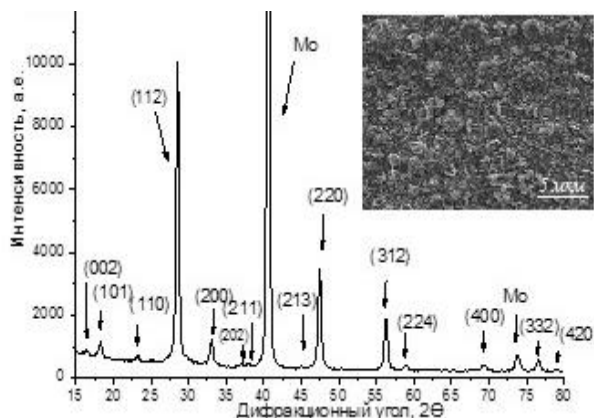


Рис. 2. Дифрактограмма и РЭМ-снимок (вставка) пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ при $T_{\text{отж}} = 525^\circ\text{C}$ с концентрацией Ag 1.2%.

С ростом степени легирования Ag появляются новые, подтверждающие образование кестеритовой структуры $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, плоскости ориентации зерен: (002), (202), (213), (420) [3]. Интенсивности линий немного увеличиваются. Преимущественная ориентация сохраняется в плоскости (112).

Из полученных методами РСМА, РДА, РЭМ и СЗМ данных были рассчитаны структурные и морфологические параметры пленок с различными концентрациями Ag. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Структура и морфология $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ при температуре отжига 525°C

Легирование, %	Стехиометрическое соотношение (Cu+Zn+Sn+Ag)/S	L, нм	d, Å	a, Å	c, Å	Средняя арифметическая высота S_y , нм	Асимметрия R_{sk}	Средние размеры зерен, мкм
0	1,06	17,8	3,120	5,404	10,808	1042	0,377	0,32
1,2	0,96	17,8	3,125	5,413	10,825	1670	0,274	0,29
1,9	1,05	19,6	3,130	5,421	10,843	2109	0,344	0,28
2,9	1,04	16,4	3,135	5,430	10,860	2686	1,856	0,29

Возрастание степени легирования Ag не вносит значительного вклада в изменение соотношения металлов к халькогену, области когерентного рассеяния и среднего размера зерен, немного повышая показатели межплоскостного расстояния и параметров решетки. Увеличивается шероховатость поверхности. При этом топографический параметр, за исключением его величины при максимальной концентрации Ag, практически неизменен и принимает наименьшее свое значение при степени легирования, равной 1.2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа, рентгенодифракционного анализа, сканирующей зондовой микроскопии и растровой электронной микроскопии были изучены структура и морфология тонких пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, отожженных в диапазоне от 425°C до 525°C и легированных Ag с концентрациями от 1.2% до 2.9%.

Анализ показал, что пленки кристаллизуются в кестеритовой фазе $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Увеличение $T_{\text{отж}}$ улучшает кристалличность исследуемых образцов, делая их наиболее пригодными к использованию (уменьшается отношение металлов к халькогену к стехиометрии, увеличивается область когерентного рассеяния и улучшается топография поверхности). Рост же степени легирования Ag существенным образом не влияет на параметры структуры и морфологии соединения, что указывает на необходимость изменения количества вводимого в образцы Ag для возможности управления электронными свойствами пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$.

Библиографические ссылки

1. С.А.Башикиров, Р.Кондротас, В.Ф.Гременок, Р.Л.Юшкенас, И.И.Тюхов. Тонкие пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ для использования в солнечных элементах третьего поколения // IS-JAEE. 2016. №15-18.
2. L. Dermenji, M. Guc, G. Gurieva, etc. Thin films of $(\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x})_2\text{ZnSnS}(\text{Se})_4$ ($x=0.05-0.20$) prepared by spray pyrolysis // Thin Solid Films. 2019. Volume 690.
3. Карта ICSD № 01 - 075 – 4122.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ НА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ

К.Г. Комяк

*Белорусский государственный университет;
fiz.komyak@bsu.by;
науч. рук. - Толстик А. Л., д-р физ.-мат. наук, проф-*

Работа посвящена изучению дифракционных и поляризационных свойств электрически управляемых одномерных решеток с периодической бинарной ориентацией нематического жидкого кристалла, период и толщина которых составляет 20 мкм. Описана технология создания жидкокристаллических дифракционных решеток новейшим бесконтактным методом текстурированной фотоориентации. В качестве фотоориентанта использовался светочувствительный азокраситель AtA-2, синтезированный в ЛМТЖКУ Института химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси. Проанализированы полученные зависимости дифракционной эффективности в различных порядках дифракции от напряжения, а также поляризационные диаграммы. Реализовано пространственно-поляризационное управление лазерным излучением с помощью жидкокристаллических дифракционных решеток. Результаты работы перспективны для создания жидкокристаллических устройств, решающих актуальные задачи поляризационной фотоники.

Ключевые слова: дифракционная структура; текстурированная фотоориентация; нематический жидкий кристалл; оптическая анизотропия; азокраситель.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из перспективных и интенсивно развивающихся направлений оптики – это разработка и создание управляемых дифракционных элементов на основе жидких кристаллов (ЖК), формирующих световое поле с заданными свойствами. Такой повышенный интерес объясняется уникальными свойствами ЖК-элементов: тонкий оптический слой, низкое рабочее напряжение, высокая анизотропия и дешевизна изготовления [1]. Целью работы являлось исследование оптических свойств электрически переключаемых дифракционных структур, созданных на основе многодоменной ориентации нематического жидкого кристалла. Исследуемые в работе ЖК-элементы были созданы методом фотоориентации. Важным элементом данной методики является фотоориентант, который задает граничные условия ориентации директора жидкого кристалла на поверхности. Эксперименты проводились с двумя типами ЖК дифракционных элементов: «твист/планар» и «твист +45°/твист -45°».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовался нематический жидкий кристалл ЖК 1282 (НИОПИК, Россия) : $n_o=1,509$, $n_e=1,678$.

Дифракционные решетки были созданы методом фотоориентации. До осуществления самой фотоориентации была проведена очистка стеклянной подложки. Затем стеклянная подложка равномерно покрывалась токопроводящим слоем оксида индия-олова (ITO). Далее методом род коутинга (Road Coating) наносилась плёнка азокрасителя AtA-2, который является разработкой ЛМТЖКУ ИХНМ НАН Беларуси. Затем производился отжиг плёнки для удаления остатков растворителя.

Засветка полученной структуры осуществлялась линейно поляризованным светом ($\lambda=465$ нм). Благодаря уникальным свойства азокрасителя его молекулы ориентируются перпендикулярно поляризации падающего излучения. Повторная засветка проводилась светом той же длины волны, но с ортогональной поляризацией и через маску-транспарант. Молекулы азокрасителя, которые оказываются под пропускающей частью маски, вновь переориентируются в направлении, перпендикулярном поляризации активирующего излучения.

Таким образом, на подложке была получена планарная ориентация молекул азокрасителя с чередующимися областями, в которых молекулы перпендикулярны друг другу.

Вторая подложка с пленкой азокрасителя облучалась линейно-поляризованным излучением равномерно. Затем обе подложки склеивались, а в зазор между ними вводился ЖК-материал капиллярным способом. Молекулы ЖК сцепляются с молекулами азокрасителя и повторяют их ориентацию.

В зависимости от желаемой ЖК-структуры можно комбинировать подложки с различной ориентацией молекул. В данной работе исследовались ЖК-ячейки типа «твист/планар» и «твист $+45^\circ$ /твист -45° » [2].

Для исследования дифракционных свойств ЖК-решеток собиралась установка, состоящая из следующих элементов: *He-Ne*-лазер, полуволновая пластинка, непосредственно ЖК-ячейка, поляризатор (в случае изучения поляризационных свойств), фотоприемник, генератор электрических импульсов (в случае изучения дифракционных свойств).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученная зависимость дифракционной эффективности в нулевом и первом порядке дифракции от напряжения для ячейки типа «твист/планар» (рис.1) позволяет судить о том, что существует пороговое напряжение порядка 1,75 В, при котором ячейка начинает реагировать на прило-

женное внешнее электрического поле. При оптимальном значении напряжения ($\sim 3,0$ В) дифракционная эффективность в первом порядке достигает максимума ($\sim 30\%$), а в нулевом – минимума. При напряжении выше 5,0 В происходит переориентация директора ЖК и разрушение дифракционной структуры.

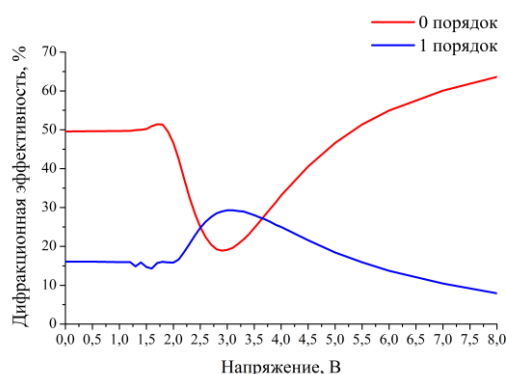


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности от напряжения для 0-го и 1-го порядков в случае ЖК-ячейки с бинарной ориентацией «твист/планар»

Особенности зависимости дифракционной эффективности от напряжения, выявленные для решетки «твист/планар» сохраняются и для решетки «твист $+45^\circ$ /твист -45° ». Максимум эффективности в первом порядке дифракции составляет 30% для обеих ячеек. Отличие состоит в начальной интенсивности прошедшего излучения. Кроме того, при напряжениях от 1,0 до 2,0 В для ячейки типа «твист $+45^\circ$ /твист -45° » наблюдается осциллирующий характер дифракционной интенсивности (рис.2).

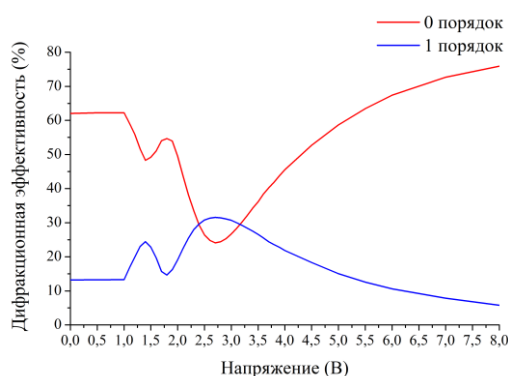


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности от напряжения для 0-го и 1-го порядков в случае ЖК-ячейки с бинарной ориентацией «твист $+45^\circ$ /твист -45° »

При изучении поляризационных свойств установлено, что независимо от состояния поляризации падающего излучения, проходя через ЖК-ячейку типа «твист/планар», поляризация излучения поворачивается на угол 45° . При этом поляризация в нулевом и первом порядках дифракции всегда ортогональна друг другу (рис.3).



Рис.3. Зависимость выходной поляризации от падающей для ячейки с бинарной ориентацией «твист/планар»

Экспериментально установлено, что для ячейки «твист $+45^\circ$ /твист -45° » в первом порядке дифракции поляризация излучения сохраняется. Для излучения, имеющего линейную горизонтальную или вертикальную поляризацию, после прохождения через ЖК-ячейку будет наблюдаться изменение поляризации на угол 90° в первом порядке дифракции (рис.4).

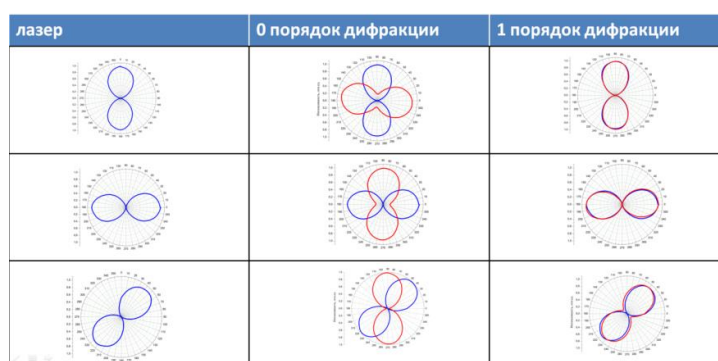


Рис.4. Зависимость выходной поляризации от падающей для ячейки с бинарной ориентацией «твист $+45^\circ$ /твист -45° »

Библиографические ссылки

1. А.А.Казак, А.Л.Толстик, Е.А.Мельникова. Управляемые жидкокристаллические элементы на основе компьютерно-синтезированных голограмм элементов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т.58, №11/3. С. 51- 53. ISSN: 0021-3411
2. К.Г.Комяк. Электрические управляемые дифракционные жидкокристаллические элементы // Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : материалы XXIX междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 22–23 апр. 2021 г.) ISBN 978-985-582-413-9

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССЕ РАССЕЙЯНИЯ ГАММА-КВАНТОВ НА ЗАРЯЖЕННЫХ ЛЕПТОНАХ

В. Д. Лаврененко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

vlauranenka@gmail.com;

науч. рук. – Т. В. Шишкина, д-р физ.-мат. наук

В работе исследовался вклад радиационных поправок первого порядка в амплитуду перехода комптоновского рассеяния. Были выявлены основные проблемы с расходящимися слагаемыми, соответствующими неприводимым электронным и фотонным собственно-энергетическим диаграммам, а также вершинным функциям. Данные расходимости были успешно сокращены и вычислен конечный вклад в амплитуду комптоновского рассеяния в четвертом порядке теории возмущений.

Ключевые слова: комптоновское рассеяние, радиационные поправки, регуляризация.

ВВЕДЕНИЕ

При расчете различных процессов в квантовой теории поля приходится сталкиваться с появлением нефизических расходимостей. Их выделение и аккуратный расчет амплитуды перехода показывает, что эти расходимости делятся на два класса: устранимые за счет других слагаемых амплитуды перехода и устранимые с учетом дополнительных физических процессов.

Целью данной работы являлись расчет амплитуды перехода эффекта Комптона в четвертом порядке теории возмущений и устранение расходимостей, возникающих в слагаемых амплитуды перехода.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОПРАВКИ К СЕЧЕНИЮ.

Гамильтониан взаимодействия в КЭД:

$$H = -ie_0 \bar{\psi} N \left((x) \gamma^\mu \psi(x) A_\mu(x) \right) \quad (1)$$

Вклад древесного приближения задается оператором [1]:

$$Q^{\mu\nu} = \gamma^\mu \frac{-i}{p+k-m} \gamma^\nu + \gamma^\nu \frac{-i}{p-k'-m} \gamma^\mu \quad (2)$$

В (2) заметна симметрия: $k \rightarrow k', k' \rightarrow k$ (3)

Древесному приближению соответствуют следующие диаграммы.

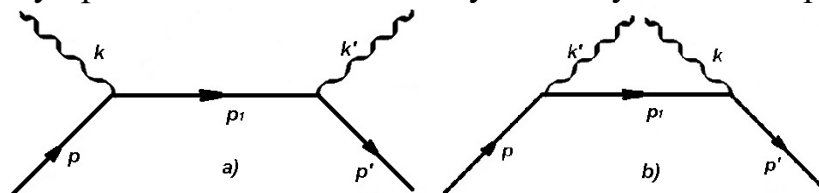


Рис. 1. Древесное приближение

Амплитуда перехода в четвертом порядке содержит 16 нетривиальных слагаемых. Ввиду симметрии достаточно рассмотреть однопетлевые поправки к диаграмме а): 2 вершинные диаграммы, 2 фотонные собственно-энергетические (ФСЭД), 3 электронные собственно-энергетические диаграммы (ЭСЭД), бокс-диаграмма. ФСЭД, при регуляризации приведут к замене голого заряда в (1) на измеряемый физический заряд электрона. Таким образом, их можно отбросить.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДИАГРАММ

Прямое вычисление поправки к вершине дает [2]:

$$\delta\Gamma^{\nu} = \frac{e^3}{8\pi^2} \int_0^1 dz \int_0^{1-z} dx (\gamma^{\nu} \ln \left(\frac{\Lambda^2 z}{(1-z)^2 m^2 + \mu^{2z} - 2xz(pk)} \right) + \frac{(1-z)^2 p\gamma^{\nu} p - x(1-x)k\gamma^{\nu} k - (1-x-z-xz)p\gamma^{\nu} k - xzk\gamma^{\nu} p}{(1-z)^2 m^2 + \mu^{2z} - 2xz(pk)}) \quad (4)$$

В данной диаграмме возникала ультрафиолетовая расходимость, выделенная введением параметра Паули-Вилларса Λ .

Прямое вычисление поправки к электронной линии даёт [2]:

$$\Sigma_2(p) = \frac{e^2}{8\pi^2} \int_0^1 (2m_0 - xp) \ln \left(\frac{\Lambda^2 x}{-x(1-x)p^2 + (1-x)m_0^2 + x\mu^2} \right) dx \quad (5)$$

Выражение имеет ультрафиолетовую расходимость для каждой электронной линии а). Электронный пропагатор с учетом ЭСЭД [3]:

$$G_2(x, y) = \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \frac{e^{-ip(x-y)}}{p - m_0 - \Sigma_2(p)} \quad (6)$$

Пропагатор задает одночастичное состояние через простой полюс:

$$\Sigma_2(p) = \Sigma_2(m_R) + \frac{d\Sigma_2(m_R)}{dp} (p - m_R) + \Sigma_{2R}(p) \quad (7)$$

Где регуляризованный пропагатор электронного поля:

$$\Sigma_{2R}(p) = \frac{\alpha}{2\pi} \int_0^1 dx \left\{ (2m_R - xp) \ln \left(\frac{(1-x)^2 m_R^2 + x\mu^2}{-x(1-x)p^2 + (1-x)m^2 + x\mu^2} \right) + (p - m_R) \frac{2x(1-x)(2-x)m_R^2}{(1-x)^2 m_R^2 + x\mu^2} \right\} \quad (8)$$

Масса состояния задается условием: $m_R - m_0 - \Sigma_2(m_R) = 0$ (9)

(7) эффективно распадается на две диаграммы, отвечающие регуляризованному пропагатору и линейной по импульсам части:

$$G_2(x, y) = \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \frac{Z_2 e^{-ip(x-y)}}{p - m_R} + \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \frac{\Sigma_{2R}(p) e^{-ip(x-y)}}{p - m_R} \quad (10)$$

$$\text{где } Z_2 \approx 1 + \frac{\alpha}{2\pi} \int_0^1 dx \left\{ \ln \left(\frac{\Lambda^2 x}{(1-x)^2 m_R^2 + x\mu^2} \right) + \frac{2x(1-x)(2-x)m_R^2}{(1-x)^2 m_R^2 + x\mu^2} \right\} \quad (11)$$

Группируя (4), (5) и (10) для всех вершин и линий так, чтобы к каждой вершине относился удвоенный вклад от внешней линии, получаем, что

параметры Паули-Вилларса, сокращаются как в вершинных диаграммах, так и во внутренней ЭСЭД.

АМПЛИТУДА ПЕРЕХОДА

Амплитуда рассеяния с учетом поправок имеет следующий вид:

$$A^{\mu\nu} = Q^{\mu\nu} + \varphi(p, k)\gamma^\mu \frac{i}{p+k-m}\gamma^\nu + \varphi(p, -k')\gamma^\mu \frac{i}{p-k'-m}\gamma^\nu +$$

$$+ F^\mu(p', k') \frac{i}{p+k-m}\gamma^\nu + \gamma^\mu \frac{i}{p+k-m} F^\nu(p, k) +$$

$$+ F^\nu(p', k) \frac{i}{p-k'-m}\gamma^\mu + \gamma^\nu \frac{i}{p-k'-m} F^\mu(p, k') +$$
(12)

$$+ \int dx dy dz du \delta(x + y + z + u - 1) [B^{\mu\nu}(p, k) + B^{\mu\nu}(p, -k')]$$

$$\varphi(p, k) = \frac{\alpha}{2\pi} \int_0^1 dx \int_0^{1-x} dz \ln \left(\frac{(1-x)^2 m^2 + x\mu^2}{(1-x)^2 m^2 + x\mu^2 - 2xz(pk)} \right)$$

$$\alpha(p, k) = \frac{\alpha}{12\pi} \frac{1}{(y+z^2-2z(1-z-y)(pk))}$$

$$F^\mu(p, k) = \frac{\alpha}{2\pi} \int_0^1 dz \int_0^{1-z} dx \left[\frac{(1-x)^2 p\gamma^\mu p - z(1-z)k\gamma^\mu k - (1-x-z-xz)p\gamma^\mu k - xzk\gamma^\mu p}{(1-x)^2 m^2 + x\mu^2 - 2xz(pk)} - \frac{(1-x)^2 p\gamma^\mu p}{(1-x)^2 m^2 + x\mu^2} \right]$$

$$B^{\mu\nu}(p, k) = \alpha(p, k) \{ 4g^{\mu\nu} - a\gamma^\nu \gamma^\mu - \gamma^\nu \gamma^\mu a - p\gamma^\mu \gamma^\nu - \gamma^\mu \gamma^\nu p' + \gamma^\mu (p + k - a)\gamma^\nu \} +$$

$$+ \alpha(p, k) - a\gamma^\nu (p + k - a)\gamma^\mu a' - \gamma^\mu (p + k - a)\gamma^\nu a p' - m\gamma^\mu \gamma^\nu a p' +$$

$$+ 2\gamma^\mu (p + k - a)\gamma^\nu (p p') + m p a \gamma^\mu \gamma^\nu - p a \gamma^\mu (p + k - a)\gamma^\nu$$

$$a = (y + z)p + zk, \quad a' = (y + z)p - zk'$$

В (12) видны слагаемые, относящиеся к скелетной диаграмме – они сохраняют вид исходной диаграммы. В противоположность скелетной диаграмме бокс-диаграммы не содержат расходимостей и приводят к появлению слагаемых принципиально нового вида.

РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ

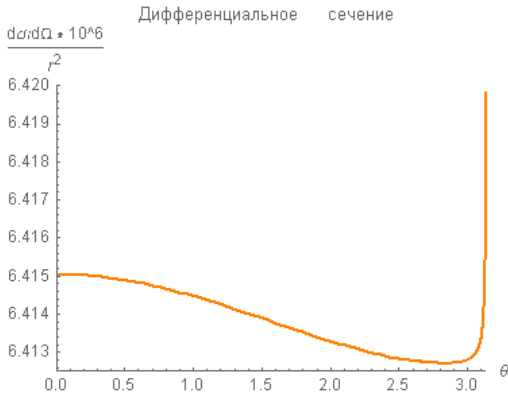


Рис. 2. Дифференциальное сечение для углов (0; 3.14) рад

По амплитуде (12) были рассчитаны поправки к сечению с учетом пороговой энергии детектора ε . Моделировалось лобовое столкновение пучков: электронного (0.5 ТэВ в системе отсчета наблюдателя) и фотонного 50 эВ.

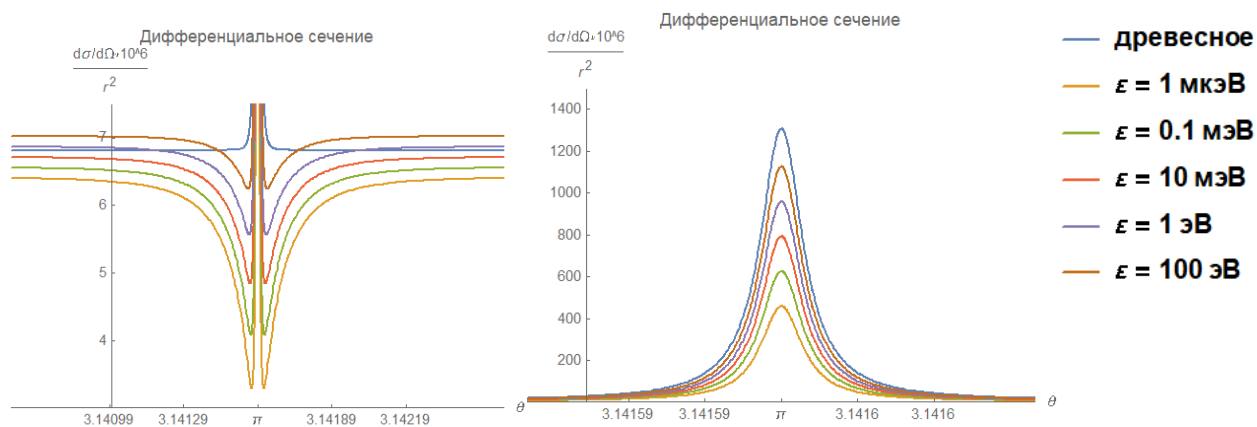


Рис. 3. Дифференциальное сечение пика и подножья пика

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был вычислен вклад радиационных поправок в амплитуду перехода процесса комптоновского рассеяния (12). В процессе вычисления вершинных поправок и поправок к линиям были выделены и успешно взаимно сокращены возникающие ультрафиолетовые расходимости. Инфракрасные расходимости, связанные с параметром μ были переведены в более физический параметр порогового значения энергии детектора ε . По данным результатам было построено сечение рассеяния эффекта Комптона при различных значениях этого параметра.

Библиографические ссылки

1. Шишкина Т. В. Физика элементарных частиц: Курс лекций/Т.В. Шишкина, Н.М. Шумейко. — Мн.: БГУ, 2002.
2. Пескин М.Е., Шредер Д.Е. Введение в квантовую теорию поля. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
3. Ахиезер А.И. Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. — М.: Наука, 1981.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БАСЕЙНА АЭС С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА RISKSPECTRUM

В. А. Левенков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

levenkov_99@mail.ru;

науч. рук. – Э. А. Михалычева, ст. науч. сотр.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с проведением вероятностного анализа систем безопасности АЭС и методов повышения их надежности во всех эксплуатационных состояниях станции. Для оценки надежности системы выполнен анализ отказов элементов системы и их последствий – FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Вероятностные расчеты проведены с помощью программного средства RiskSpectrum. Результаты исследования представлены в виде деревьев отказов.

Ключевые слова: бассейн выдержки АЭС; анализ надежности; ВАБ; RiskSpectrum.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность АЭС является безусловным приоритетом при проектировании и эксплуатации атомных станций.

Безопасность АС (атомной станции) (ядерная и радиационная безопасность АС) [1] – свойство АС обеспечивать надежную защиту персонала, населения и окружающей среды от недопустимого в соответствии с нормами и правилами в области использования атомной энергии радиационного воздействия.

Анализ безопасности – это аналитическая оценка физических явлений, возникающих на АЭС, которая позволяет продемонстрировать выполнение требований по безопасности в отношении всех постулируемых исходных событий, которые могут возникать в широком диапазоне эксплуатационных состояний установки, включая разные уровни эксплуатационной готовности систем безопасности.

Целью данной работы является: проведение анализа надежности системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива, построение деревьев отказов для моделирования функций системы при работе энергоблока на мощности и в режимах останова с учетом внутренних инициирующих событий.

ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ

Вероятностный анализ безопасности атомных электрических станций является одним из основных инструментов (наряду с детерминистским анализом) оценки безопасности АЭС. Используя накопленные статистические данные по дефектам оборудования и нарушениям в работе АЭС, ВАБ позволяет на основании вероятностных расчетов оценить уровень безопасности эксплуатируемых и строящихся атомных станций[2]. Любое решение по безопасности атомной станции принимается на основании оценки влияния его последствий на уровень безопасности АЭС.

В процессе выполнения ВАБ производится оценка параметров надежности оборудования систем безопасности, и систем важных для безопасности [3]. В результате выполнения количественной оценки аварийных последовательностей, характерных для данного блока исходных событий аварии, средствами ВАБ выявляются наиболее значимые для безопасности элементы оборудования, которые могут быть или заменены, или усовершенствованы.

Схематично объем исследований ВАБ представлен на рисунке 1.



Рис. 1 – Объем исследования вероятностного анализа безопасности

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БАССЕЙНА

Система охлаждения топливного бассейна (ФАК) предназначена для выполнения следующих функций: отвода остаточных тепловыделений от отработавших кассет, находящихся в топливном бассейне во всех проектных режимах эксплуатации, а также в режимах проектных и запроектных аварий; создания радиационно-защитного слоя над кассетами; операций по перегрузке-выгрузке топлива.

Вероятностная оценка надежности системы ФАК заключалась в количественном определении отказов системы при выполнении заданных функций методом моделирования деревьев отказов с использованием программного комплекса RiskSpectrum.

Для оценки надежности системы выполнен анализ отказов элементов системы и их последствий – FMEA, в результате которого были определены все отказы элементов топливного бассейна (насосов, обратных клапанов, электроприводных и ремонтных задвижек, элементов теплообменников) для всех функций, выполняемых системой, и всех эксплуатационных состояний.

Функция отвода тепла от бассейна выдержки считалась не выполненной при отказе двух каналов системы. Время необходимой работы системы составляло 24 ч. Дерево отказов системы ФАК при выполнении функции отвода тепла приведено на рисунке 2.

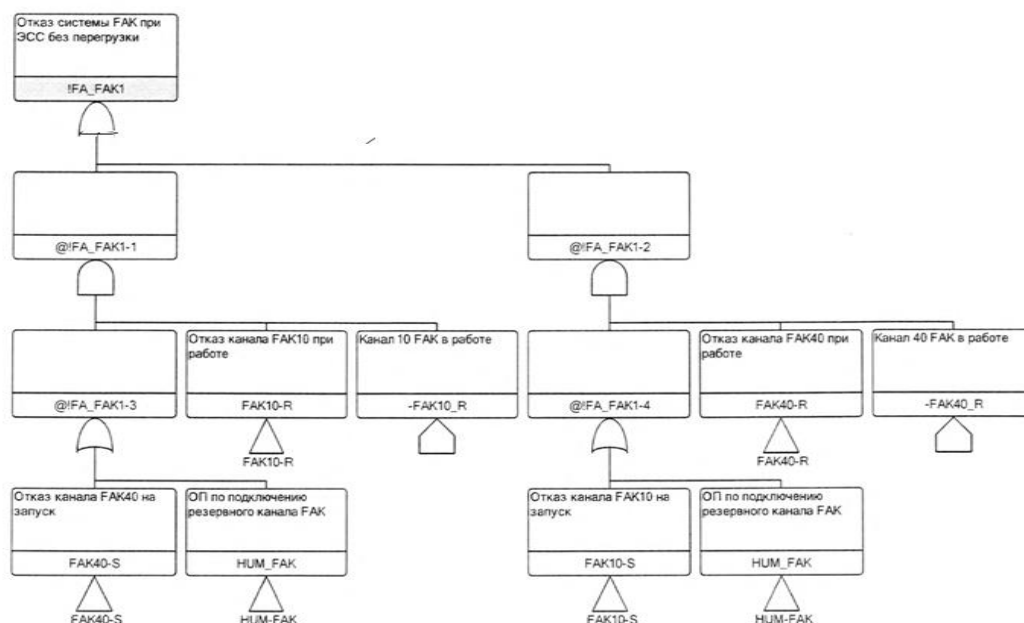


Рис. 2 – Дерево отказов системы охлаждения бассейна выдержки при выполнении функции отвода тепла

Проведен анализ значимости базисных событий (отказов системы) по показателям Fussel-Vessely по формуле

$$FV = [F(X) - F(0)]/F(X),$$

где $F(X)$ – это вероятность отказа системы при номинальной вероятности базисного события, а $F(0)$ – в предположении, что событие не произошло, а также по показателям Birnbaum по формуле

$$B(x) = \frac{d}{dx} P(x), \text{ или } B(x) = F(1) - F(0),$$

где $F(1)$ – это вероятность отказа системы в предположении, что событие реализовалось, а $F(0)$ – в предположении, что событие не произошло.

Анализ значимости позволяет определить наиболее «слабые» места проекта системы и те элементы, проведенные мероприятия по улучшению надежности которых позволят с наименьшими затратами повысить надежность всей системы в целом. Наиболее значимыми отказами системы ФАК являются вместе с отказами основных элементов топливного бассейна (насосы, арматура) отказы обеспечивающих систем, в том числе систем охлаждения, вентиляции и кондиционирования.

Среднее значение вероятности отказа охлаждения топливного бассейна для эксплуатационных состояний станции без перегрузки топлива составляет $4,97E-06$, с частичной или полной перегрузкой топлива – $5,74E-03$, что показывает достаточную надежность работы системы бассейна выдержки.

При выполнении вероятностных расчетов был проведен анализ вкладов доминирующих минимальных сечений при работе канала системы ФАК, который показал существенное влияние на надежность системы отказов вспомогательных систем – отказ системы вентиляции на запуск (базисное событие KLG11AN004FAS) составляет 33,79 %, отказ отвода тепла системой промконтур отвода тепла ответственных потребителей (базисное событие KAA14AA202VWH), соответственно, составляет 16,10 %. При этом отказ насоса (основного элемента системы ФАК) в работе (базисное событие ФАК10AP001PMR) составляет 2,52%.

По результатам поведенной работы были сделаны следующие рекомендации:

- для повышения надежности системы охлаждения топливного бассейна АЭС необходимо рассмотреть изменение режимов тестирования элементов системы путем переключения каналов из режима ожидания в режим работы не реже 1 раза в месяц;
- повысить надежность обеспечивающих систем путем резервирования их каналов и изменения режимов тестирования.

Библиографические ссылки

1. Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции: НП-095-15. – Введ. 12.08.2015. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ, 2015. – 10 с.
2. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий: Руководство по безопасности РБ-024-19 – Введ. 17.07.2019. – М.: Федеральная служба по атомному надзору РФ, 2019. – 67с.
3. Острейковский В.А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. – Москва: Физматлит, 2008. – 352 с.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ АНАЛИЗА МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Н. В. Махнач, И. В. Трофименков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

m1kach3m@gmail.com, vanyu0759@gmail.com;

науч. рук. – А. Н. Коваленко, ст. науч. сотр.;

Е. И. Коваленко, доц., канд. биол. наук

Разработан универсальный кросс-платформенный программный интерфейс для анализа масс-спектрометрической информации, позволяющий работать с различными форматами баз данных и обращаться к различным масс-спектрометрическим библиотекам. Программный интерфейс представляет собой языковую конструкцию типа интерфейс (контракт), позволяющий передавать неизвестный масс-спектр в модуль поиска и получать из него результат поиска. Разработаны два модуля поиска mssearch1 и mssearch2 – динамически загружаемые библиотеки DLL, написанные на ObjectPascal в среде Lazarus IDE, взаимодействующие с UniChrom. Данный интерфейс протестирован с UniChrome-97 под ОС Linux Debian GNU/Linux 10.9 и Windows 7/Windows 10 64bit. Модули поиска могут быть использованы с другими программными продуктами и другими базами данных, с Web-интерфейсом.

Ключевые слова: масс-спектрометрия; хроматография; программный интерфейс; базы данных; коэффициенты подобия; SQL; NIST2020.

ВВЕДЕНИЕ

Масс-спектрометрия (МС) – аналитический метод, применяемый в биологии, химии, медицине, экологии, контроле технологических процессов, позволяющий определять молекулярную массу и элементный состав молекул и их фрагментов [1,2]. К приоритетным направлениям МС, в частности, относятся исследования биополимеров и лабильных веществ, многокомпонентных смесей, изучение метаболизма [1,2]. Применение МС реализуется в сочетании с хроматографией и другими методами разделения веществ. Масс-спектру соответствует массив пар значений отношения массы к заряду (m/z) и интенсивности ионного тока. Важнейшей проблемой МС является расшифровка масс-спектров и интерпретация информации, для чего необходимо применять компьютерную обработку результатов. Процедура расшифровки масс-спектра требует обращения к базе данных (БД). Среди БД крупнейшими являются библиотеки Национального института стандартов и технологий США (NIST) платного доступа, содержащие до миллиона спектров, а также открытые библиотеки (MassBank и др.). Производители оборудования для МС сохраняют данные в проприетарных форматах, что ограничивает пользователя и принуждает применять программные пакеты

только этого производителя. Таким образом, для повышения продуктивности работы важным является создание универсального программного интерфейса для работы с различными форматами данных и библиотеками, разработка которого и явилась целью данной работы.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Работа выполнена с применением NIST-MS Library, набора библиотек разработчика NIST-MS SDK (system development kit), кросс-платформенного компилятора ObjectPascal Free Pascal Compiler, совместимого с Delphi Pascal, Lazarus IDE (интегрированная среда разработки для Free Pascal Compiler), SQL сервера Firebird, системы регистрации, обработки и хранения спектрометрической информации UniChrom-97. Программный интерфейс представляет собой языковую конструкцию типа интерфейс (контракт), позволяющий передавать неизвестный масс-спектр в модуль поиска и получать из него результат поиска. Разработаны два модуля поиска mssearch1 и mssearch2 – динамически загружаемые библиотеки DLL, написанные на ObjectPascal в среде Lazarus IDE, взаимодействующие с UniChrom.

Оба модуля реализуют общий алгоритм поиска в произвольной базе данных, включающий следующие шаги.

1. Получить масс-спектр в указанной временной точке.
2. Выполнить вычитание шума.
3. Создать контекст поиска (для каждого хромато-масс-спектра создается свой контекст).
4. Передать спектр в выбранный контекст в модуле поиска.
5. Вызвать метод поиска кандидатов (масс-спектров веществ, подобных неизвестному).
6. Выполнить подготовку БД: открыть соединение с БД.
7. Выполнить предварительный поиск.
8. Выполнить полный поиск кандидатов масс-спектров в БД.
9. Сопоставить масс-спектры полученных кандидатов с информацией по веществам (наименование, молекулярная масса (mw), формула и другие атрибуты).
10. Сформировать результат (список масс-спектров, подобных искомому) и снабдить необходимыми атрибутами.
11. Возвратить успешный или неуспешный код выхода (успешный при обнаружении подобных спектров, иначе – неуспешный).
12. Вывести список результатов со всеми атрибутами в виде таблицы.

Пункты 1, 2, 4, 5, 11, 12 выполняются в UniChrom. Специфичными для определённого типа БД являются пункты 3, 6-10, реализуемые с помощью различных функций в модулях поиска mssearch1 и mssearch2.

Модуль `mssearch1` разработан с использованием SQL (от англ. *structured query language* – «язык структурированных запросов») [3]. Данный модуль обращается к серверу БД, в которой реализована структура, содержащая следующие таблицы. `COMP` – информация о компоненте (веществе); `MSLIB` – информация о спектре, содержит ссылку на вещество `COMP_ID` в таблице `COMP`; `SPECTRA` – пики всех спектров, содержит ссылку `SP_ID` на спектр в таблице `MSLIB`; `SPECTRA_TMP` – временная таблица, содержащая пики неизвестного спектра; `SYNON` – все наименования веществ, содержит ссылку `COMP_ID` на таблицу `MSLIB`. Предварительный поиск и полный поиск объединены в одну хранимую процедуру. В процессе предварительного поиска выполняется выбор первых 5 наиболее интенсивных пиков неизвестного спектра, определяется область пересечения всей таблицы библиотечных пиков (*inner join*) с отобранными пиками при совпадении m/z и отличии значений интенсивности не более чем на 10 отн. ед. Результат группируется по идентификатору спектра, что позволяет рассчитать агрегатные значения для дальнейшего определения коэффициентов подобия, а именно, прямой коэффициента подобия по S. Stein [4] (*St*), косинуса угла спектральной контрастности (*SC*), коэффициент корреляции спектров Пирсона (*Pearson*). Далее, результат выводится в `UniChrom`.

Модуль `mssearch2` реализован с применением БД `NIST`. Для разработки использовался `NIST SDK`. Контекст поиска представляет собой объект, инкапсулирующий в себе структуры для управления поиском и структуры для получения результата. Основная функция, управляющая контекстом, называется `nistms_search`. В контексте поиска передаются пути к БД, типы используемых БД (`mainlib`, `replib`) и выбираются активные библиотеки. После выполнения поиска составляется список кандидатов с масс-спектрами, подобными исследуемому веществу. Коэффициенты подобия по S. Stein [4], возвращаются в массивы `sim_num` (прямой коэффициент подобия), `rev_sim_num` (обратный коэффициент подобия), `hit_prob` (вероятность совпадения). По списку кандидатов производится вычитывание масс-спектров и передается в `UniChrom`.

ТЕСТИРОВАНИЕ

Тестирование модулей поиска производилось в 64-битных системах `Windows 7/10` и `Linux Debian GNU/Linux 10.9` с использованием 64-битной версии `UniChrom 5.1`, результат проиллюстрирован на рис. 1 и 2. На рис. 1 представлена хроматограмма полного ионного тока. Маркер установлен внутри пика выбранного вещества (указано стрелкой), выходящего из хроматографа при $t = 4,75$ мин, для которого анализируется масс-спектр. На рис. 2 показаны слева масс-спектры и справа таблица кандидатов с атрибутами (название, формула, m_w , *St*, *SC*, *Pearson*). Масс-спектр

неизвестного вещества размещен сверху (область 1), а выбранного кандидата из таблицы – снизу (область 2).

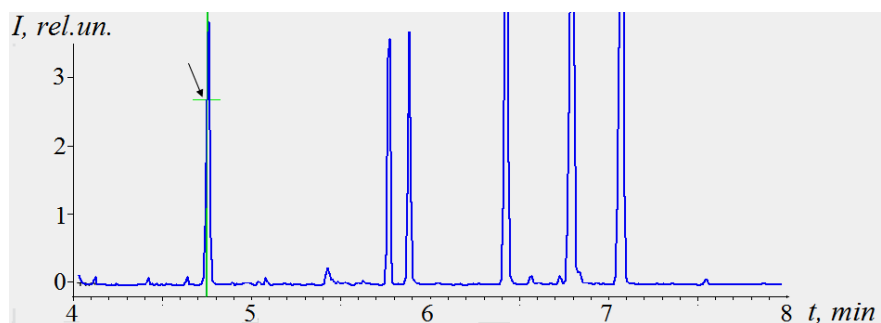


Рис. 1. Хроматограмма полного ионного тока для смеси вещества

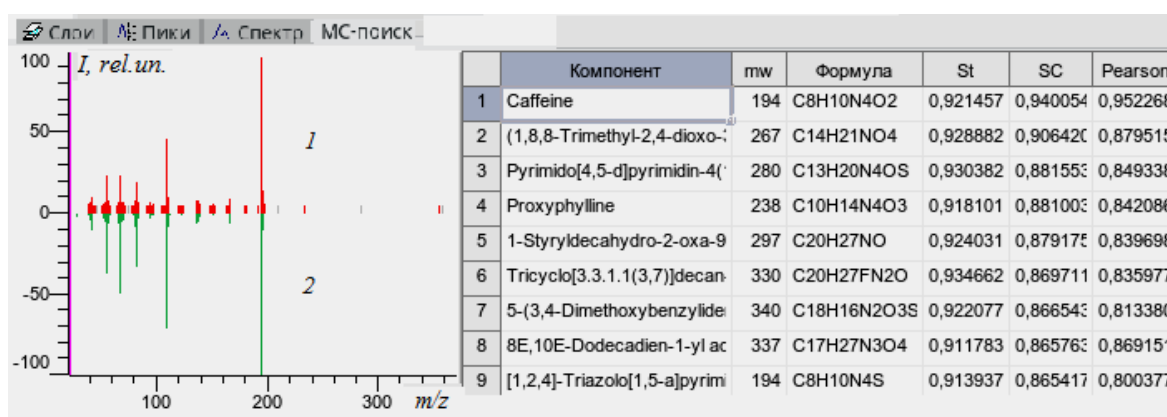


Рис. 2. Масс-спектры (слева) и таблица кандидатов с атрибутами (справа)

Таким образом, разработан универсальный кросс-платформенный программный интерфейс к БД для идентификации масс-спектров. Модули поиска могут быть использованы с различными программными продуктами и БД, в том числе с Web-интерфейсом.

Библиографические ссылки

1. Лебедев А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии. М.: БИНОМ. Лабор. знаний, 2003, 493 с.
2. Беризовская Е. И. Методы обработки масс-спектрометрических данных при идентификации пептидов и белков // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия. 2015. Т. 56. № 5. С. 266-278.
3. Грофф Д. Р., Вайнберг П. Н., Оппель Э. Дж. SQL: полное руководство, 3-е изд. SQL: The Complete Reference, Third Edition. - М.: «Вильямс», 2014. 960 с.
4. Stephen E. Estimating probabilities of correct identification from results of mass spectral library searches. // J. Am. Soc. Mass. Spectrom. 1994, V. 5, P. 316-323.

ОПТИЧЕСКИЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СФЕРИЧЕСКИЕ МИКРОЧАСТИЦЫ В ПОЛЕ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

К. В. Писцова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

ksushapistsova@gmail.com;

науч. рук. – О. Х. Хасанов, канд. физ.-мат. наук

В работе теоретически исследовано взаимодействие эритроцитов с фокусированным гауссовым лазерным пучком. Изучен характер движения ансамбля микрочастиц в поле излучения под действием градиентной силы светового давления и силы рассеяния с учетом броуновского движения биочастиц в суспензии.

Ключевые слова: прозрачная сферическая микрочастица, гауссов пучок, градиентная сила, силы рассеяния и поглощения, поляризуемость, вязкость жидкости.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка неинвазивных методов лазерной макро- и микродиагностики биотканей, а также проблемы манипуляции микрочастицами лазерными пучками находятся в центре внимания исследователей благодаря большому потенциалу применения лазерного излучения в биомедицинских технологиях.

Как известно, при распространении лазерного излучения в дисперсной системе (кровь, биоткань и др.) оно испытывает многократное рассеяние на микрочастицах, ослабляется и может отклоняться от направления распространения. Для успешного решения проблемы стабильного распространения лазерного излучения в биологических средах необходимы знания о механизмах взаимодействия биочастиц с лазерным полем.

В данной работе исследован характер движения ансамбля частиц в поле лазерного пучка с целью контролируемой манипуляции ансамблем.

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

На прозрачную микрочастицу сферической формы, находящуюся в поле лазерного излучения, действует сила светового давления, которую условно можно разделить на две составляющие: силу, действующую вдоль градиента интенсивности поля F^{grad} , градиентную силу, и силу, действующую вдоль направления распространения излучения, являющуюся суммой сил поглощения F^{abs} и сил рассеяния F^{scat} . Таким образом, полную силу светового давления можно представить в виде:

$$F^{\text{light}} = F^{\text{grad}} + F^{\text{abs}} + F^{\text{scat}}. \quad (1)$$

В случае непоглощающей микрочастицы [1]:

$$F^{grad} = \frac{|\alpha|}{2} \nabla I, \quad (2)$$

$$F^{scat} = \frac{n_m \sigma_{scat} I}{c},$$

где

$$\sigma_{scat} = \frac{k_m^4 |\alpha|^2}{4\pi} \quad (3)$$

– сечение рассеяния,

$$\alpha = 3V \frac{n_p^2 - n_m^2}{n_p^2 + 2n_m^2}$$

– поляризуемость биочастицы, I – интенсивность внешнего поля, $k_m = 2\pi n_m / \lambda$ – волновое число, n_p – показатель преломления материала частицы, n_m – показатель преломления жидкости, λ – длина волны в вакууме, c – скорость света в вакууме, V – объем микрочастицы.

Рассмотрим случай, когда лазерный пучок фокусируется тонкой линзой в кювету с жидкостью, в которую погружена микрочастица. Тогда интенсивность излучения, распространяющегося вдоль оси z , имеет следующий вид:

$$I = \frac{I_0}{\left(1 - \frac{z}{f}\right)^2 + \left(\frac{z}{z_\partial}\right)^2} \exp \left[-\frac{x^2}{p_0^2 \left(\left(1 - \frac{z}{f}\right)^2 + \left(\frac{z}{z_\partial}\right)^2 \right)} \right],$$

где f – фокусное расстояние линзы, I_0 – входная интенсивность излучения, z_∂ – дифракционная длина пучка.

Исходя из действующих на микрочастицу сил, уравнение ее движения в лазерном поле, можно представить в виде:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + k \frac{dz}{dt} = F^{grad} + F^{scat}, \quad (4)$$

где m и R – масса и радиус микрочастицы соответственно, $k = \pi \eta R$ – коэффициент трения в жидкости с динамической вязкостью η .

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Уравнения движения ансамбля микрочастиц, случайно распределенных в биосуспении исследовались с помощью системы Wolfram Mathematica. Анализ их движения базируется на численном решении уравнения динамики (4) явным методом Эйлера.

В данной работе мы считаем, что микрочастицы (эритроциты) находятся в кювете с размерами 4 и 0.6 см в длину и ширину, соответственно. Предполагаем, что лазерный пучок на входе в кювету имеет радиус 0.1 см и фокусируется линзой с фокусным расстоянием 10 см. Другими словами, фокус пучка находится за пределами кюветы. Лазерное излучение имеет длину волны 500 нм и входную интенсивностью $I_0 = 318 \text{ Вт/м}^2$. Показатель преломления жидкости $n_m = 1,33$. Физические характеристики эритроцита взяты из работы [2]: коэффициент преломления $n_p = 1.38$, масса $m = 27 \cdot 10^{-15} \text{ кг}$ и радиус $r = 8 \text{ мкм}$. В наших вычислениях мы предполагали, что в кювете находится 10^4 микрочастиц.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

С помощью пакета Wolfram Mathematica было смоделировано движение микрочастиц в суспензии под действием сил, вызванных влиянием лазерного пучка. На рис. 1. представлены графики распределения частиц в кювете с интервалом 100 миллисекунд.

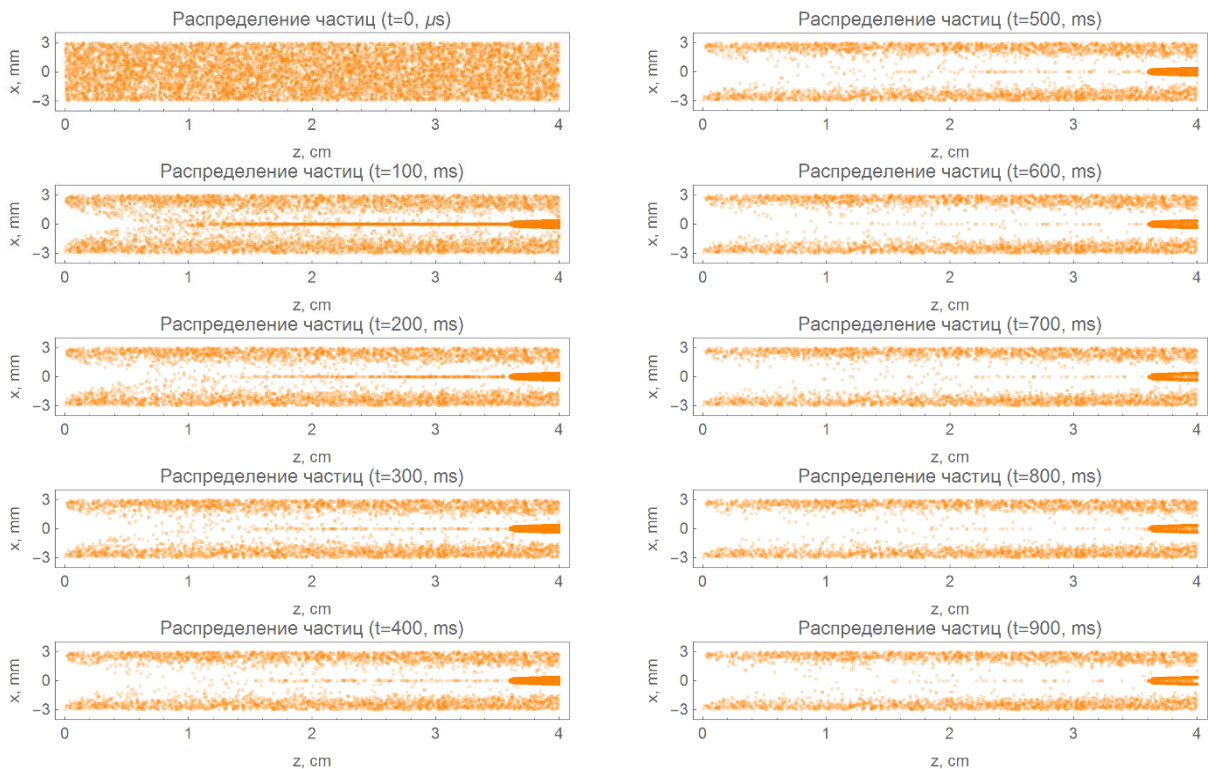


Рис. 1. Графики распределения частиц в моменты времени $t = 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 \text{ мс}$.

Как следует из рисунка 1, под действием продольной компоненты градиентной силы и силы рассеяния микрочастицы двигаются в область поля с большей интенсивностью и скапливаются на оси лазерного пучка. Частицы, находящиеся у стенок кюветы, не попадают под действие сил светового давления. В результате мы наблюдаем образование канала для лазерного пучка.

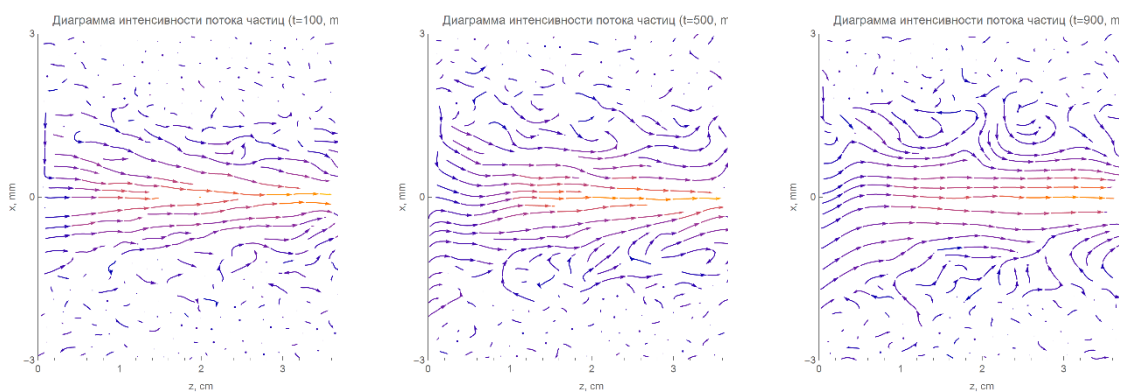


Рис. 2. Диаграммы интенсивности потока частиц в моменты времени $t = 100, 500, 900$ мс.

На рис. 2 представлены диаграммы интенсивности потока частиц. Как следует из рисунка, скорости микрочастиц у стенок кюветы в отсутствие сил светового давления направлены в разные стороны, поскольку участвуют в броуновском движении. Со временем потоки частиц становятся параллельными оси пучка. Скорость частиц у дальней стенки кюветы больше, чем скорость частиц у передней стенки, так как микрочастицы попадают в область поля с большей интенсивностью под действием постоянной силы.

Таким образом, установлено, что под действием поперечных составляющих градиентной силы биочастицы выстраиваются вдоль оси пучка, двигаясь вдоль неё под действием продольной составляющей градиентной силы. Величина градиентной силы зависит от размеров микрочастицы, ее поляризуемости, а также от радиуса и интенсивности лазерного пучка. Величина силы рассеяния вперед зависит от интенсивности и длины волны излучения, а также от поляризуемости частицы. Под ее воздействием частицы движутся вдоль оси пучка, причем ее действие может превышать влияние градиентной силы. Частицы двигаются под действием силы рассеяния, что приводит к их перемещению в область поля с большей интенсивностью, где сила давления больше, что создает дополнительное ускорение частиц. Совместное воздействие броуновского движения микрочастиц и силы рассеяния препятствует скоплению частиц на оси лазерного пучка, способствуя их концентрации вблизи оси пучка. Ширина этого участка растет с увеличением интенсивности броуновского

движения. Совокупное воздействие диффузии и сил светового давления приводит к формированию волновода для лазерного излучения в суспензии микрочастиц.

Библиографические ссылки

1. *А.А. Афанасьев, Л.С. Гайда, Е.В. Матук, А.Ч. Свистун.* Движение серебряных наночастиц в жидкости с различной вязкостью под действием сил светового давления // Проблемы физики, математики и техники. – 2016. – № 4 (29). – С. 7–12.
2. *K. G. Phillips, S. L. Jacques, O. J. T. McCarty.* Measurement of single cell refractive index, dry mass, volume, and density using a transillumination microscope// Physical review letters. – 2012. – Vol. 109, iss. 11. – P. 118105.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАГРУЗЧИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

А.В. Стажинский

Белорусский государственный университет, г.Минск;

stazhinskiyalexey@mail.ru;

науч. рук. – О.Ю.Смирнова, ст.преп.

В данной статье разработана математическая модель автоматического загрузчика полупроводниковых пластин. Определены оптимальные длины колен загрузчика и углы, на которые должны поворачиваться звенья загрузчика, для осуществления алгоритма движения. Определены предельные углы поворота каждого колена, а также допуск на угол поворота шагового мотора в колене. Сконструирована 3D-модель загрузчика. Написан код на языке программирования python управления загрузчиком.

Ключевые слова: микроэлектроника; полупроводниковые пластины; контроль качества

ВВЕДЕНИЕ

С ростом уровня технологии производства интегральных схем в микроэлектронике повышаются требования к контролю качества и чистоты поверхности полупроводниковых пластин. Производство чипов представляет собой цепочку технологических процессов обработки пластин: выращивание слитков кремния → резка на пластины → наращивание эпитаксиального слоя → фотолитография → химическое травление → легирование. На каждом этапе производится очистка и контроль поверхности на наличие структурных и привнесенных дефектов. Во избежание появления привнесенных дефектов и загрязнения перенос пластин между этапами обработки и контроля осуществляется посредством автоматической загрузки и выгрузки из специального контейнера.

В институте физики НАН Б была разработана установка для определения дефектов на поверхности полупроводниковых платин [1]. Однако работа такой установки была не до конца автоматизирована: загрузка образцов для определения дефектов осуществляется вручную. Для повышения скорости обработки пластин, а также предотвращения привнесенного загрязнения потребовалось реализовать автоматическую загрузку платин из контейнера. Целью данной работы и является разработка и реализация устройства и разработка программного обеспечения, которые позволят осуществить автоматическую загрузку полупроводниковых пластин.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Устройство загрузки пластин представляет собой робот-манипулятор, который забирает пластины из контейнера и подает в рабочую зону установки. Загрузчик состоит из трёх колен, которые должны поворачиваться относительно друг друга посредством шаговых моторов, расположенных внутри колен. Данная конструкция позволяет перемещать диск в любую точку плоскости. Фиксация пластины на манипуляторе осуществляется при помощи пневматического захвата.

При разработке модели решались следующие задачи:

- расчет оптимальной длины колен загрузчика
- нахождение режима движения, при котором загрузчик будет занимать меньше места
- определение допусков на неопределенность выставления углов поворота колен манипулятора

Алгоритм перемещения колен для реализации забора пластины из контейнера представлен на рис.1.

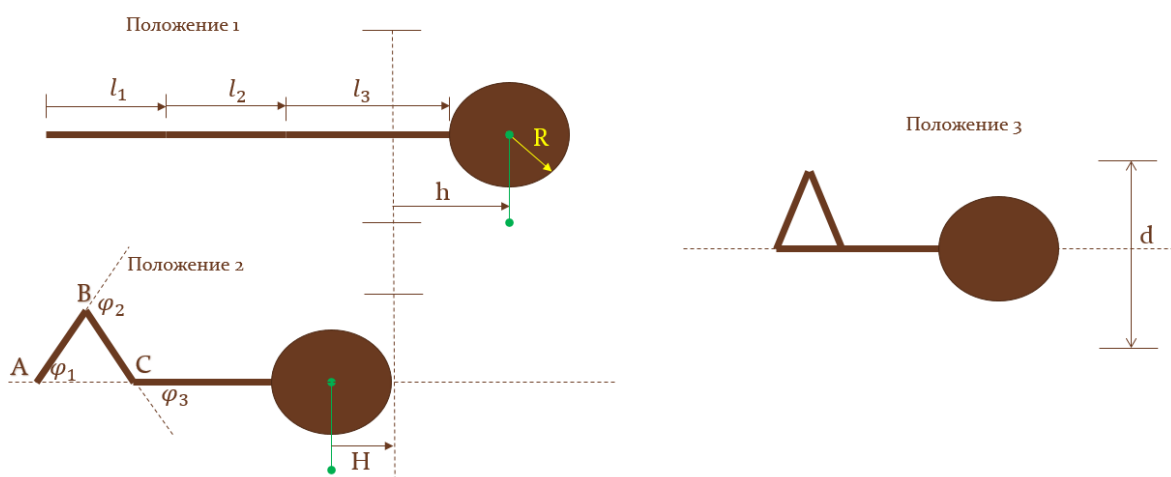


Рис. 1. Схема алгоритма движения

Диск пластины из крайнего выдвинутого положения необходимо сместить по прямой на некоторое расстояние, при котором он будет находиться вне установки. После этого манипулятор целиком должен повернуться на 90 градусов относительно начального направления, «заметая» при этом минимальную площадь. Длины колен обозначим l_1 , l_2 , l_3 . Предполагаются известными величины:

- R – радиус диска, до 200 мм;
- $H + h$ – расстояние, на которое необходимо извлечь диск, $H + h = 250$ мм;
- d – размер проема установки, 220 мм;

Из рис.1 можно получить значения длин звеньев и углы поворота. Для осуществления алгоритма движения необходимо, чтобы треугольник ABC являлся равнобедренным, а $l_3 > R$. Отсюда получаем:

$$\begin{aligned} l_1 &= l_2, l_3 \geq R \\ \varphi_1 &= \varphi_2, \varphi_2 = 2\varphi_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Рассмотрим положение 1 на рис.1. Выразим расстояние L от оси вращения первого звена до центра диска в положении 1:

$$L = 2l_1 + l_3 \quad (2)$$

Выразим расстояние L от оси вращения первого звена, до начального положения центра диска в положении 2. Учитывая то, что основание треугольника ABC равно:

$$AC = 2l_1 \cos\varphi_1 \quad (3)$$

С учетом (3) получим:

$$L = 2l_1 \cos\varphi_1 + l_3 + h + H \quad (4)$$

Приравняв (2) и (4) и выразив l_1 , получим:

$$l_1 = \frac{H+h}{2(1-\cos\varphi_1)} \quad (5)$$

Учитывая условия (1), из формулы (5) можно получить значения длин колен:

$$\begin{aligned} l_1 &= l_2 = 92 \text{ мм}, l_3 = 205 \text{ мм} \\ 0 &\leq \varphi \leq 111^\circ \end{aligned}$$

На основании расчетов была построена 3D модель загрузчика, представленная на рис.2.

Определим допуск на неопределенность поворота звена. Запишем смещение крайней точки пластины как:

$$x = x_0 + l_1 \sin\varphi_1 - l_2 \sin\varphi_2 + l_3 \sin\varphi_3$$

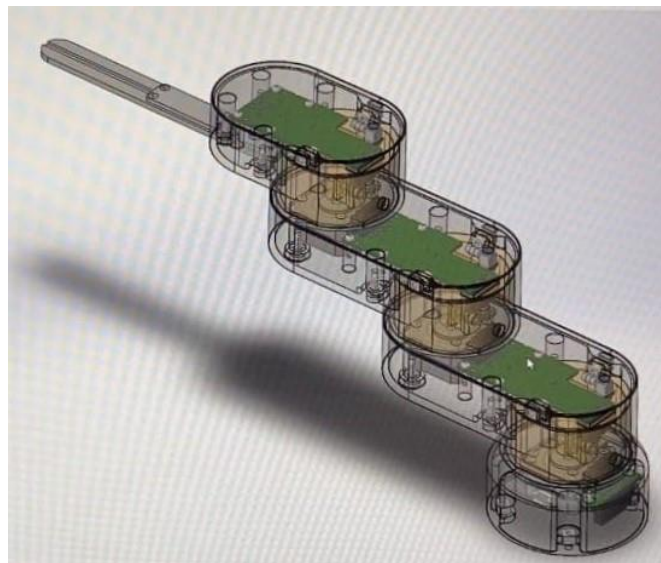


Рис. 2. Общий вид загрузчика

Используя разложением Тейлора и приближение малости углов получим:

$$dx = l_1 d\varphi_1 - l_2 d\varphi_2 + l_3 d\varphi_3$$

Полагая дифференциал углов $d\varphi_i$ равным микрошагу мотора $\pm \frac{2\pi}{25600}$ (рад) и подставляя значения длин звеньев получим допуск dx :

$$dx = 0.0917146 \text{ мм}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана математическая модель загрузчика пластин и программный код для реализации алгоритма движения. Компоненты для корпуса загрузчика напечатаны на 3D принтере. Еще предстоит интегрировать модуль в состав установки по контролю пластин и протестировать его работу.

Библиографические ссылки

1. С.Я. Прислопский, А.Г. Смирнов, В.В. Станкевич, И.В. Балыкин, А.А. Рыжевич, Оптимизация установки для определения анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин, 12-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2019», с.463-465

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ ГЕЛИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА CoCrFeMnNi

Степанюк Н. А.

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
науч. рук. - Углов В. В., д-р физ—мат- наук, проф.*

Сплав CoCrFeMnNi (сплав Кантора) – одна из самых изученных систем нового класса жаро- и радиационно стойких материалов – высокоэнтروпийных сплавов. Полученный методом дуговой плавки с последующими литьем, отжигом и холодной прокаткой сплав CoCrFeMnNi, имея крупнозернистую однофазную структуру твердого раствора с ГЦК-решеткой, показал повышенную радиационную стойкость к облучению ионами гелия и по сравнению с полученными аналогично Ni и CoCrFeNi, подтвердив теорию о положительном влиянии энтропии смешения и искажений решетки на радиационные свойства материала.

Ключевые слова: высокоэнтропийные сплавы, облучение ионами, радиационная стойкость

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) – класс твердых металлических материалов, исследующийся с конца 1990-ых годов по наши дни, и на данный момент интерес к ним только возрастает. К высокоэнтропийным относятся сплавы, состоящие из 5 и более элементов, атомное содержание каждого из которых лежит в пределах 5–35 ат. % [1]. Также по величине энтропии смешения ($S_{\text{смеш}}$) все сплавы делятся на:

- низкоэнтропийные (НЭС, $S_{\text{смеш}} < 0,69R$),
- среднеэнтропийные (СЭС, $0,69R < S_{\text{смеш}} < 1,61R$),
- высокоэнтропийные (ВЭС, $S_{\text{смеш}} > 1,61R$),

где $R=8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная [2].

Обычно ВЭС образуют ОЦК или ГЦК-решетку, а количество возможных стехиометрий ВЭС превышает число атомов в нашей Вселенной, из-за чего их рассматривают как перспективные материалы для решения широкого круга задач. ВЭС обладают высокими жаропрочностью и жаростойкостью, механическими свойствами и показывают высокую радиационную стойкость, в силу чего являются кандидатами в материалы оболочек ТВЭлов ядерных реакторов [1-3].

ТЕОРИЯ СПЛАВА CoCrFeMnNi

Сплав CoCrFeMnNi, также носящий название сплава Кантора, относится к группе ВЭС на основе переходных 3d-металлов, для которых существует зависимость типа кристаллической решетки от концентрации валентных электронов (КВЭ). В сплаве Кантора КВЭ = 8, что соответствует ГЦК-решетке ($7,5 \leq \text{КВЭ} \leq 9,5$). Энтальпия смешения данного сплава $H_{\text{смеш}} = -4,16$ Дж/моль, энтропия смешения – $S_{\text{смеш}} = 1,61R$, для него соблюдаются все уточненные критерии Юм-Розери, все элементы сплава Кантора имеют ГЦК-модификации, что позволяет создать из них твердый раствор с ГЦК-решеткой [1].

Литературные данные показывают, что более высокая энтропия смешения позволяет ВЭС не плавиться при больших температурах и оставаться устойчивыми в большем температурном интервале, чем СЭС: для ВЭС CoCrFeMnNi температурная ширина зоны устойчивости равна 690°C , в то время как для СЭС CoCrFeNi – 470°C .

В то же время, различие атомных радиусов приводит к тому, что решетка твердого раствора даже в бездефектном состоянии выглядит искаженно [3]. Среднеквадратичный разброс параметров элементарных ячеек кристалла, нормированный на параметр решетки твердого раствора, для CoCrFeMnNi составляет 0,039, для CoCrFeNi – 0,034.

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ

Образцы Ni, CoCrFeNi и CoCrFeMnNi были изготовлены в Пекинском технологическом университете методом дуговой плавки и отливки в медной кювете с последующими вакуумным отжигом при температуре 1150°C на протяжении 24 ч, холодной прокаткой до сокращения толщины на 85% и завершающим отжигом при температуре 1150°C на протяжении 72 ч. Полученные образцы имеют форму прямоугольных параллелепипедов линейными размерами 7 мм × 3 мм × 2 мм. Исследуемые образцы подвергались облучению ионами He с энергией 40 кэВ и флюенсом $3 \cdot 10^{17}$ см⁻².

МИКРОСТРУКТУРА ИСХОДНОГО И ОБЛУЧЕННОГО ВЭС

Исследование микроструктуры образцов производилось методом растворяющей электронной микроскопии (РЕМ) с помощью микроскопа ZEISS LEO 1455 VP. Полученные описанным выше методом образцы имели крупнозернистую структуру, линейный размер зерен составил 100 мкм для образца CoCrFeMnNi и 80 мкм для образца CoCrFeNi. Зерна имеют правильную форму с шестиугольными сечениями. Также на поверхности отчетливо заметны следы двойникования, внесенного механической об-

работкой образцов при получении, что способствует увеличению радиационной стойкости путем наличия стока дефектов в виде границ двойников (рис. 1а).

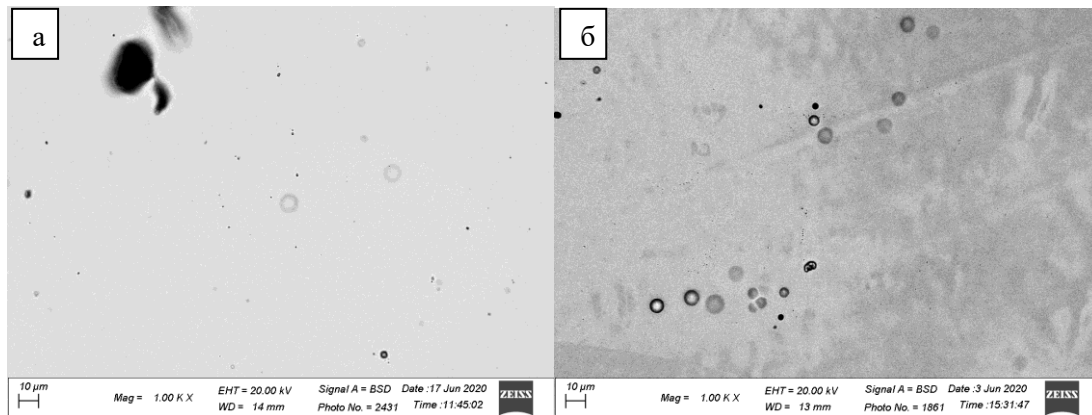


Рис. 1. РЭМ изображения образца CoCrFeMnNi (а) и Ni (б), облученных ионами He

При облучении ионами He поверхность образцов ВЭС и СЭС не претерпела эрозии поверхности и иных видимых изменений, в то время как на образцах из чистого Ni заметны блистеры размерами до 10 мкм (рис. 1б).

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ИСХОДНОГО И ОБЛУЧЕННОГО ВЭС

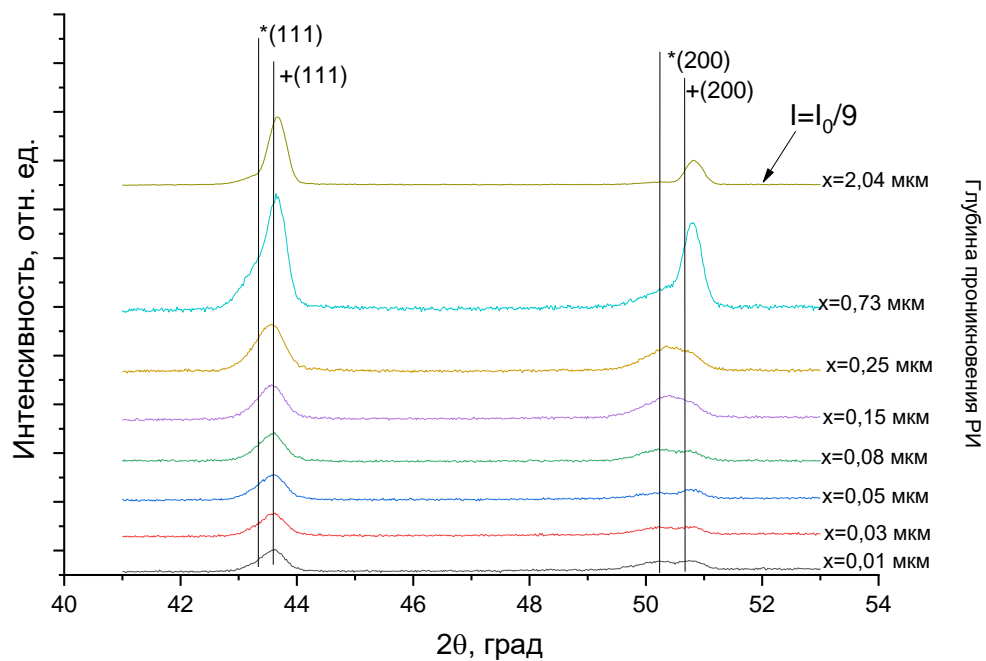


Рис. 2. Участки дифрактограмм РСА ВЭС CoCrFeMnNi, облученного ионами He и Kr, снятые при вращении образца при углах падения лучей (0,05-10°) (глубины (0,01-2,04) мкм)

Исследование фазового состава образцов производилось методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием длины волны медного излучения ($\lambda=0,154178$ нм) в геометрии параллельного пучка.

РСА выявил, что при приготовлении образцов в ВЭС и СЭС сформировались многокомпонентные твердые растворы с ГЦК-решетками. В силу того, что ионы He проникают в сплавы на малые глубины, была произведена съемка с углами падения лучей α из промежутка $0,05^\circ-10^\circ$, что соответствует глубинам проникновения рентгеновских лучей $0,01-2,04$ мкм. Исследования методом РСА показали, что в случаях обоих сплавов выявлена радиационная стойкость фазового. Не обнаружен распад твердого раствора или формирование дополнительных фаз (рис. 2).

При облучении He появляется группа рефлексов, отмеченная символом «*», которая соответствует напряженной области зерен образцов и расположена преимущественно на глубинах максимума повреждающей дозы (рис. 2). Относительное увеличение параметра решетки в данной области достигает 1,2%. Для образцов CoCrFeNi средняя деформация (1,5%) превышает деформацию в образцах CoCrFeMnNi, что говорит о большей радиационной стойкости ВЭС к облучению по сравнению с СЭС и более простыми материалами.

ВЫВОД

Высокоэнтропийный сплав Кантора CoCrFeMnNi показал высокую устойчивость микроструктуры и фазового состава к облучению ионами He. Относительная деформация его решетки оказалась меньше таковой для CoCrFeMnNi, что говорит о подавлении дефектообразования при облучении факторами энтропии смешения и искажений решетки, что повышает радиационные свойства материала.

Библиографические ссылки

1. *Y. Zhang, S. Xia, Z. Wang, T.F. Yang* “Irradiation Behaviour in High-Entropy Alloys” // JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL. 2015, 22(10): p. 879-884.
2. *N.A.P. Kiran-Kumar, C. Li, K. J. Leonard, H. Bei, S. J. Zinkle* “Microstructural Stability and Mechanical Behaviour of FeNiMnCr high entropy alloy under ion irradiation” // Acta Materialia, Volume 113 (2016), p. 230-244.
3. *C. Lee, Y. Chou, G. Kim, G. Song, M. C. Gao, C. Zhang, W. Chen, J. Poplawsky, Y. C. Chou, H. Choo and P. K. Liaw* “Lattice-Distortion-Enhanced Yield Strength in a Refractory High-Entropy Alloy”, Advanced Materials, (2020).

ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ NOCODE И ЕЕ ИНТЕГРАЦИИ С ТЕХНОЛОГИЯМИ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА

Р. И. Андросюк, А. А. Ленюски, В. П. Можейко

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
rtn.androsiuk@gmail.com; vladislav.mozheiko321@gmail.com
науч. рук. – К. С. Мулярчик, канд. техн. наук, доц.*

Изучена распространенность и популярность использования NoCode технологий. Выявлены причины возникновения NoCode инструментов и их целевая аудитория. Разработан прототип NoCode системы, эмулирующий NoCode среду разработки. Сформулированы основные принципы создания эффективных NoCode платформ. Выведен концепт использования текстового представления программы вместо визуального. Изучены на практике возможности программного извлечения информации из текста.

Ключевые слова: технологии NoCode, бизнес решения, визуальная абстракция, визуальные формы, смысловой анализ текста.

ВВЕДЕНИЕ

NoCode — это концепт, при котором пользователь имеет возможность создать собственное приложение без написания программного кода. Сам по себе NoCode не нов [1], но сильную популярность данный подход к разработке ПО получил в последние несколько лет, в чём мы убеждаемся согласно сервису Google Trends на рис. 1.

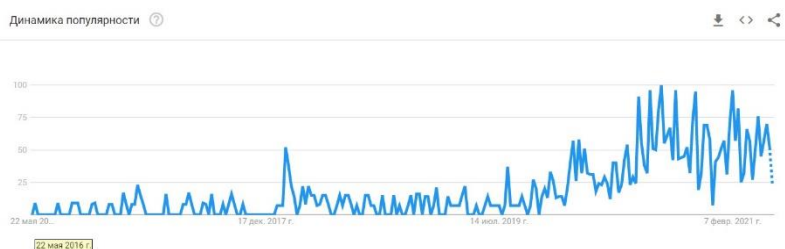


Рис. 1. Популярность запроса «nocode» согласно Google Trends

NoCode сервисы презентуют себя на рынке как «программирование для непрограммистов». Однако во многих ситуациях NoCode инструменты не справляются со своими обещаниями. Большая конкуренция между различными сервисами и поспешные попытки заполнить свой продукт всевозможным функционалом неизбежно наносят урон по удобству и доступности использования данного сервиса.

Несмотря на многие мифы, что NoCode системы небезопасны, непроизводительны и нестабильны, на данный момент вполне возможно создать конечный продукт, пользуясь исключительно NoCode технологиями.

ПРОТОТИП NOCODE СИСТЕМЫ

В качестве практической части нашей работы мы разработали прототип NoCode системы. Его целью является изучить технологии NoCode, их принципы и как они могут быть использованы на реальном продукте, а также проанализировать недостатки NoCode и проблемы при разработке NoCode сервисов.

По своей сути прототип является визуальным редактором для создания уникальных вариаций классической игры «змейка». Редактор изображен на рис. 2. Правила игры выстраиваются тремя типами блоков: функциональными, логическими и блоками событий. Также присутствует возможность войти в код каждого блока и отредактировать его. За счет создания связей и настройки блоков пользователь создаёт собственную уникальную вариацию игры.

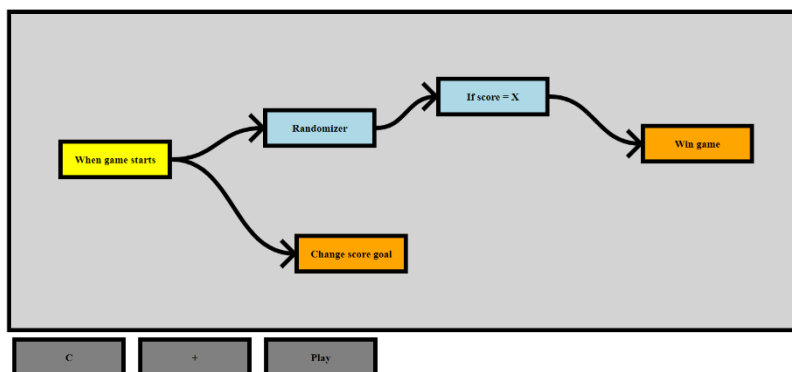


Рис. 2. Интерфейс нашего NoCode редактора

Один из принципов, который мы сформулировали в процессе разработки нашего прототипа — чтобы в перспективе создать успешный NoCode сервис, в нём необходимо соблюсти баланс практичности и доступности. Инструмент должен иметь чёткую и интуитивную логику построения продукта, а также сильный набор функционала, опирающийся на заранее установленные правила, однако не нарушающий их.

Второй принцип можно сформулировать так: NoCode платформы зависят от абстракции. Успешные NoCode инструменты позволяют изолировать от пользователя все сложности и тонкости классической разработки на том уровне абстракции, куда владельцу бизнеса вмешиваться нет ни желания, ни необходимости.

Почти все нынче появляющиеся NoCode сервисы растут из-за быстрого растущего спроса на IT разработчиков, которых зачастую попросту не

хватает. Более того, не каждый бизнес может себе позволить иметь за собой команду или разработчиков, или дизайнеров, или аналитиков и т.п. Потому и возникает необходимость в доступных инструментах для достижения хоть и примитивных, но кастомизированных решений малого и среднего бизнеса.

ВИЗУАЛЬНЫЕ ФОРМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В NOCODE

Технология NoCode, которая была описана выше, уже давно существует и нашла свое применение. Но для её использования нужно всё же знать какие-то базовые понятия алгоритмов. Поэтому для большинства людей, пусть и в визуальном редакторе, но составление программы с использованием NoCode является трудоёмкой задачей. В то же время, словами люди могут легко описать, что они хотят получить в результате. Поэтому предоставление людям возможности составлять текстовое описание необходимых требований вместо составления алгоритмов из блоков сделает написание программ на основании NoCode ещё более доступным для большинства людей.

Для исследования возможности выбирать необходимые элементы из текста была сделана попытка создать программу, которая будет строить визуальные формы на основании предоставленного ей текста.

Кратко расскажем о том, что подразумевается под визуальными формами. За основу был взята теория из книги Дэна Роэма [2]. Суть её заключается в том, что любую визуальную информацию мы воспринимаем мгновенно, просто посмотрев, например, на изображение. То есть воспринимаем общую картину происходящего перед нашими глазами. Но при использовании только визуальной информации мы упускаем мелкие детали. Например, мы не знаем точного расстояния между объектами, которые видим. В то же время при чтении текстовой информации, мы получаем её последовательно, слово за словом и постепенно строим у себя в голове общую картину. Поэтому визуальная информация дополняет текстовую и наоборот.

Также следует отметить, что следуя данной теории, полностью описать любую информацию можно, используя шесть основных вопросов: «Кто?/Что?», «Где?», «Сколько?», «Когда?», «Почему?», «Как?».

Каждая визуальная форма отвечает на определённые вопросы, например, диаграмма на рис. 3 отвечает на вопрос «Сколько?». Таким образом, используя определённые визуальные формы и алгоритмы для их создания, мы можем получать из текста необходимые фрагменты информации. На рис. 3 приведён пример получения данных из предложения: «На первом занятии присутствовало 85,5% студентов и 78,2% на последнем».



Рис. 3. Результат работы программы для поиска и построения диаграмм

Таким образом, если рассчитать, ответов на какие вопросы требует использование того или иного блока из NoCode, то мы сможем составить программу на основании текста, используя алгоритм, похожий на алгоритм поиска визуальных форм.

В случае, если программе, написанной на NoCode, будет не хватать данных или же описание какого-либо блока она не сможет понять, она может сама вывести пользователю вопрос, используя вышеупомянутые шесть вопросов. В случае со змейкой, если пользователь, например, не задал условие победы, то можно вывести вопрос: «Сколько необходимо набрать очков для победы?». Ответив на этот вопрос, пользователь дополнит свой изначальный запрос и задаст необходимые параметры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог проделанной работе, можно сказать, что не существует "лекарства от всех болезней", решения для всех проблем. В роли разработчика ПО вам необходимо рассматривать и приоритезировать время до выхода на рынок, гибкость развития продукта, полную стоимость владения и обслуживания продукта и т.д. Фокусируясь на одном, можно упустить другое, и именно в таких ситуациях целесообразно применение NoCode инструментов. Хотя NoCode технологии и развиваются в экспоненциальной прогрессии, мы ещё далеки от того, чтобы полностью отказаться от классических языков программирования.

Библиографические ссылки

1. “No Code” is not a new thing // medium.com [Электронный ресурс]: URL: <https://medium.com/always-be-coding/no-code-is-not-a-new-thing-92cda0109c57> (дата обращения: 21.3.2021).
2. Визуальное мышление. Как «продавать» свои идеи при помощи визуальных образов / Дэн Роэм; пер с англ. О. Медведь – М.: Манн, Иванов, Фербер, 2013.

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СИГНАЛОВ В КОСМИЧЕСКОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ S-LIGO

В. В. Беглик, П. Д. Кривошеев, И. П. Охрименко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

vladbeglik@gmail.com, kryvasheyeu.pavel@gmail.com,

Ivan.Ohrymenko@gmail.com

науч. рук. – Н. Н. Кольчевский, канд. физ.-мат. наук, доцент

На сегодняшний день во всем мире функционируют 3 обсерватории, предназначенные для детектирования гравитационных волн – зарегистрировано 67 событий. Предложена космическая измерительная система гравитационных волн «S-LIGO-NxR-zu»; Разработано ПО для расчета кинематических характеристик S-LIGO в среде разработки RAD Studio версии 10.4.2, на языке программирования Delphi. Исследована система S-LIGO-N4R-Z2, состоящая из 4 спутников на 2 ортогональных орбитах в 2 конфигурациях. Выполнен расчет и анализ ключевых характеристик космического детектора гравитационных волн S-LIGO-N8R-Z2.

Ключевые слова: интерферометр, гравитационные волны, спутниковые системы, космический детектор, детектор гравитационных волн.

Реализация гравитационных детекторов, действительно способных зарегистрировать гравитационные волны, стала возможной лишь в XX веке. Первое подтвержденное обнаружение гравитационных волн было произведено детекторами Advanced LIGO 14 сентября 2015 года. Анализ данных для подтверждения того, что обнаруженный сигнал действительно был вызван гравитационной волной, а не артефактом, занял несколько месяцев, а объявление об обнаружении обнаружение было, наконец, сделано 11 февраля 2016 года.

В настоящее время, ведутся разработки наземных детекторов третьего поколения. Einstein Telescope (ET) и Cosmic Explorer (CE) - это проекты наземных детекторов гравитационных волн третьего поколения. Длины плеч ET составят 10 км (3 плеча), а CE – 40 км (2 плеча). Конфигурация ET отличается от LIGO-подобной конфигурации CE тем, что образует равносторонний треугольник под землей. CE располагается на поверхности земли (2 перпендикулярных плеча).

Предложено исследовать модель космического детектора гравитационных волн. Космос – условно неограниченное, по сравнению с Землей, пространство, в котором можно разместить детектор больших размеров и трехмерной конфигурации. Этот факт открывает доступ к областям спектра ГВ, недоступных для LIGO детекторов, размещенных на Земле. В качестве космического детектора ГВ предлагается космическая измерительная система искусственных спутников (ИС), расположенная на орбитах планет.

Предложена космическая измерительная система ГВ из x спутников с условным обозначением «S-LIGO-N x R- zy » Space - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), где X – количество спутников Z типа орбиты (низкоорбитальные – L, среднеорбитальные – M, геостационарные – G, высокоэллиптические – H – орбиты, Z – не зависит от типа), расположенных на Y – количестве орбит планеты наименования N (планета Земля – E).

В работе исследуется временная пространственная эволюция и возможности космического детектора ГВ «S-LIGO-N4R-Z2» с системой спутников. Разработано программное обеспечение (рис. 1) для моделирования космической спутниковой системы S-LIGO. Для написания программного обеспечения используется среда разработки Embarcadero RAD Studio. Данное программное обеспечение обладает различными функциями, примером может служить задание спутника и расчеты координат спутников, задание направления движения спутников, высоты и других важных параметров.

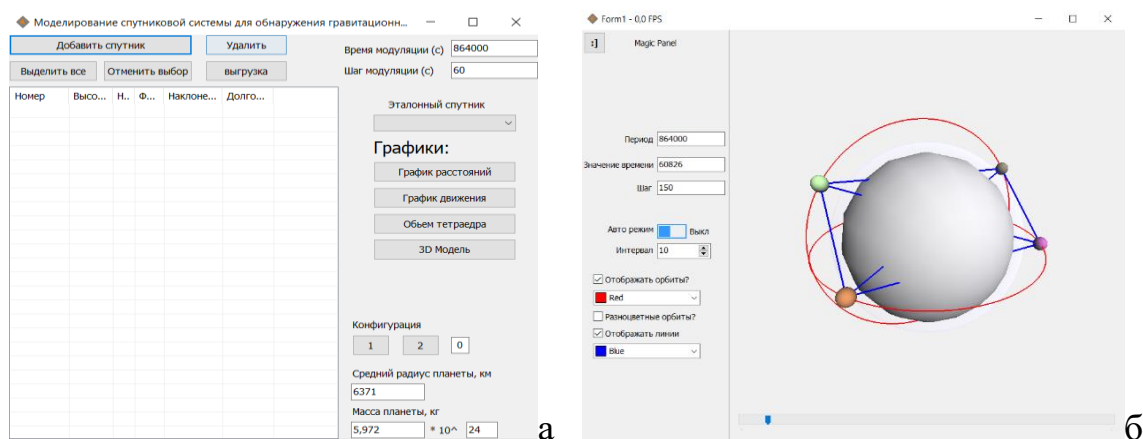


Рис. 1. Программное обеспечение (а) и 3D модель (б) системы геостационарных спутников «S-LIGO-E4R-G2»

Доступно также построение графиков движения системы спутников в проекциях на декартовую систему координат в проекциях XY, XZ, ZY, график расстояний спутников, расчет-оценка качества формирования трехмерной фигуры тетраэдр, 3D моделирование спутников с визуализацией граней, орбит. Данное программное обеспечение работает на версиях Windows 7 и выше.

Пространственные конфигурации космических систем могут задаваться множеством способов, зависящих от выбора количества орбит и вариацией зависимого размещения спутников на этих орбитах. В работе рассмотрены два способа задания конфигурации космического детектора S-LIGO-N4R-z2. Рассмотрены 2 способа задания спутников, которые периодически образуют правильный тетраэдр в пространстве (рис. 2, 3).

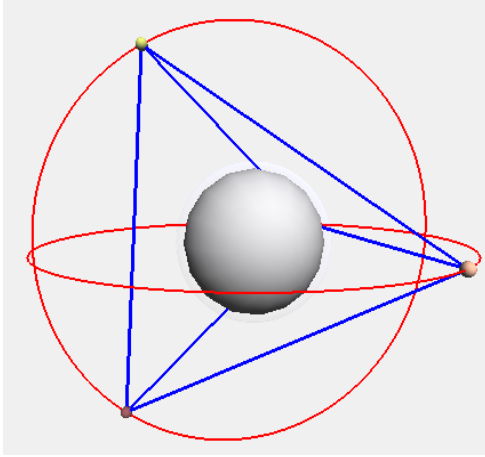


Рис. 2. Модель первой конфигурация спутников, образующих правильный тетраэдр в момент времени $t = 0$

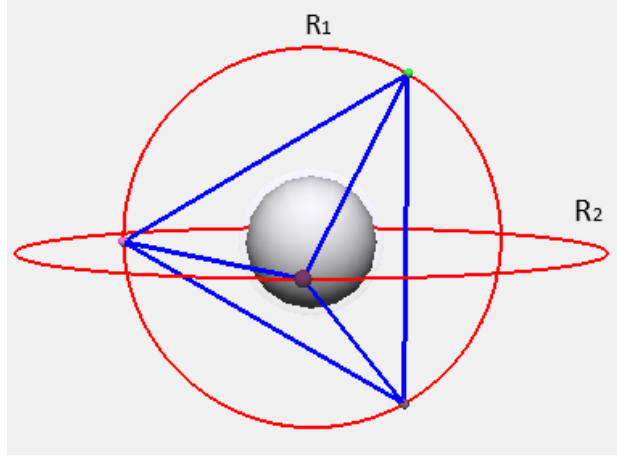


Рис. 3. Модель второй конфигурация спутников, образующих правильный тетраэдр в момент времени $t = 0$

Первый способ (рис. 2) заключается в том, что 3 спутника вращаются по одной геостационарной орбите радиусом R_1 с разностью фаз в 120° , образуя равносторонний треугольник. Четвертый спутник вращается на ортогональной им орбите радиусом R_2 таким образом, что:

$$a = \sqrt{3}R_1, \quad (1)$$

$$R_2 = \sqrt{a^2 - R_1^2}, \quad (2)$$

$$R_2 = \sqrt{(\sqrt{3}R_1)^2 - R_1^2} = \sqrt{2}R_1, \quad (3)$$

где a – ребро тетраэдра, R_1 – радиус первой орбиты, R_2 – радиус второй орбиты.

Так как 4 спутника должны образовывать тетраэдр, то длина ребра тетраэдра равна стороне правильного треугольника, вписанного в орбиту с радиусом R_1 , где находятся 3 спутника.

Во втором способе (рис. 3) все 4 спутника находятся на 2 орбитах с одинаковым радиусом. Основная идея заключается в том, что на каждой орбите находятся по 2 спутника, отстающие друг от друга на 109.47° по фазе. Обе орбиты являются ортогональными по отношению к друг другу. Система представляет собой правильный тетраэдр, вписанный в шар с радиусом, равным радиусу орбит.

При этом период формирования правильного тетраэдра будет равняться половине периода обращения спутника вокруг планеты. Это было

проверено расчетами и анализом графика зависимости объема четырехгранника от времени (рис. 4). Отношение периодов формирования тетраэдра первой и второй конфигурацией было равным:

$$T_1 = \sqrt[4]{8}T_2. \quad (4)$$

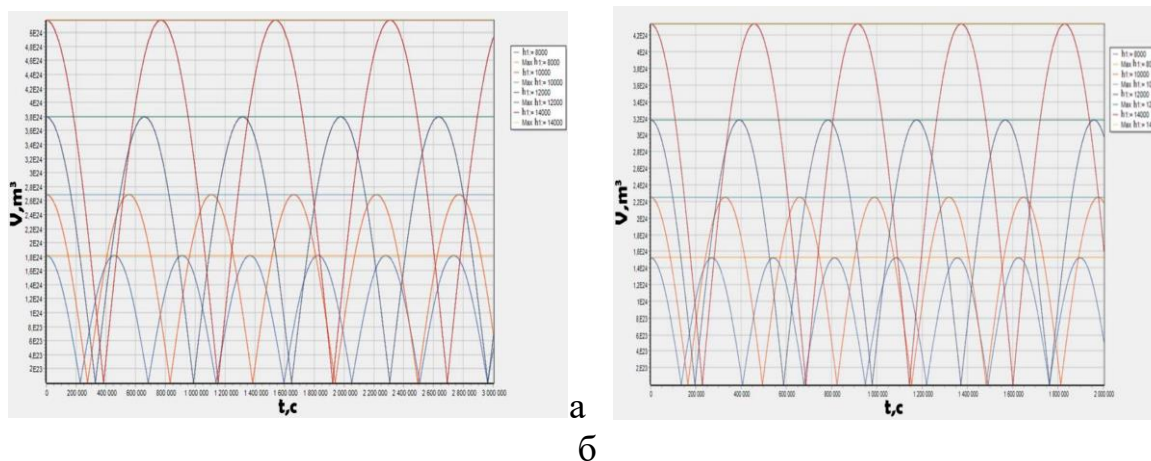


Рис. 4. Графики зависимости объема четырехгранника от времени для первой (а) и второй (б) конфигурации спутников при разных значениях радиуса орбиты

В отличие от наземного детектирования ГВ со стационарным положением системы источник – детектор для космического детектора необходимо предсказывать относительное положение спутников в системе, которая определяет возможности и характеристики измерительной системы. Разработанное программное обеспечение для расчета кинематических характеристик S-LIGO позволяет конструировать и исследовать многообразные спутниковые системы. В данной работе представлены результаты исследований конфигурации систем спутников S-LIGO-N4R-Z2, состоящей из 4 спутников на 2 ортогональных орбитах в 2 состояниях:

- 2 орбиты, 3 и 1 спутник на первой R_1 и второй R_2 орбите соответственно, таким образом, что $R_2 = \sqrt{2}R_1$
- 2 орбиты, по 2 спутника на каждой орбите.

Библиографические ссылки

1. Abbot, B.P.// Exploring the sensitivity of next generation gravitational wave detectors / B. P. Abbott [et al.] // Class. Quantum Grav.2017.
2. Abbot B.P., Abbot R., Abbot T.D.// Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger Phys. Rev. Let.2016.
3. Weber J.//Gravitational-wave-detector events. Physical Review Letters.1968.
4. LIGO NEWS: LIGO Suspends Third Observing Run [Электронный ресурс] URL:<https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20200326>. (дата обращения: 12.05.2021).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РАСЧЕТА БИОПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ РЕС- ПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Бондаренко Ю.А.

Белорусский государственный университет, г. Минск;

BondarenYU@bsu.by;

науч. рук. – С. А. Лысенко, д-р физ.-мат. наук, проф.

В статье рассматривается возможность использования регрессионного анализа для прогнозирования урожайности различных сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь. Предлагается в качестве аппроксимации использовать нелинейный тренд, а в качестве предикторов использовать метеорологические данные и данные дистанционного зондирования Земли. Результаты опробованы на статистических данных по урожайности за 2017-2019. Получена высокая оценка оправдываемости прогноза, в среднем более 85%.

Ключевые слова: прогноз урожайности, регрессионная модель, информационная технология, NDVI.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире одной из важных задач любой страны является обеспечение продовольственной безопасности. В условиях изменения климата вопрос заблаговременного знания объема сельскохозяйственной продукции приобретает еще большую актуальность. Урожайность сельскохозяйственных культур — сложный с точки зрения прогнозирования показатель, что связано с тем, что на формирование урожая влияет не только производственные факторы, но и погодные условия.

В настоящее время в агрометеорологии преобладают методики для прогнозирования урожайности в период вегетации культур. За длительную историю разработки эти прогнозы доказали свою надежность и эффективность и на данный момент времени отличаются высокой точностью, эффективностью и дифференциацией по территории. Данные прогнозы характеризуются значительным разнообразием методик при заблаговременности от 1 до 3 месяцев. В территориальном плане преобладают прогнозы областного уровня, гораздо меньшее распространение в силу сложности доступа к локальным данным и метеорологическим параметрам получили методики ориентированные на административный район или отдельное хозяйство.

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Все многообразие факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, можно условно разделить на две группы: уровень культуры земледелия и метеорологические факторы. Уровень культуры земледелия оказывает значительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и связан с материально-технической базой. Данный фактор можно охарактеризовать трендовой компонентой, а на отклонения от тренда будут влиять метеорологические и другие случайные факторы.

Таким образом, урожайность можно аппроксимировать следующим уравнением:

$$Y_i = T_i + dY_i,$$

где Y_i – урожайность в год, T_i – трендовый компонент, который связан с сельскохозяйственными технологиями, dY_i – случайный компонент, который обусловлен климатическими и погодными условиями в текущем году.

В качестве аппроксимации зачастую используется положительный линейный тренд, который характеризует улучшение сельскохозяйственных технологий [1,2]. Но использование линейного тренда не способно полностью отобразить характер и скорость долгосрочных изменений в материально-технической базе и среднесрочных изменений в экономической ситуации. Для учета этих факторов имеет смысл использовать нелинейный тренд. На рисунке 1 приведен пример влияния тренда на предсказание отклонения, связанного с климатической составляющей.

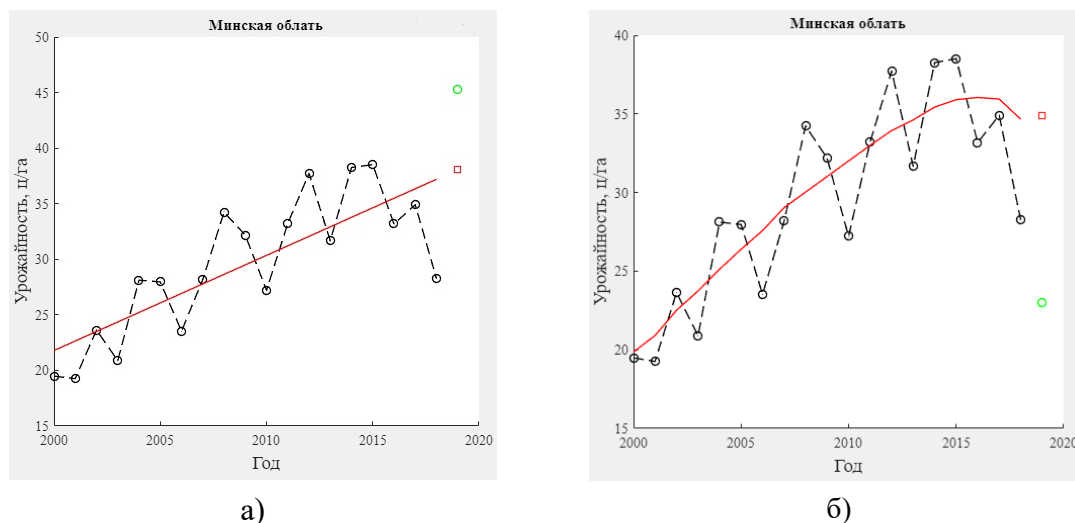


Рис. 1. Использование линейной (а) и нелинейной (б) аппроксимации для линии тренда урожайности зерновых и зернобобовых

Для вычисления климатообусловленной составляющей строится регрессионная модель, связывающая отклонение с множеством факторов,

исчерпывающий перечень которых, как правило, не известен. Общий вид регрессионной модели можно представить как:

$$dY_i=f(x_{1i},x_{2i},\dots,x_{ni}),$$

где $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$ – временные ряды факторных показателей.

В качестве регрессионной функции используем линейную, а в качестве предикторов среднедекадные показатели метеорологических параметров (температура, осадки и др.) и 16-ти дневный компонент вегетационного индекса NDVI [1].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица

Результаты прогнозирования урожайности зерновых и зернобобовых для каждой области на 2017-2019 года

Область	Брест- ская	Витеб- ская	Гомель- ская	Гроднен- ская	Мин- ская	Могилев- ская
2017 год						
R ²	0,958	0,917	0,782	0,945	0,818	0,852
Предсказанная уро- жайность, ц/га	36,4	32,1	31,4	42,5	40,3	34,9
Фактически получен- ная, ц/га	34,3	27,8	27,9	39,6	34,9	32,7
Оправдываемость, %	93,8	84,4	87,5	92,7	84,5	93,5
2018 год						
R ²	0,955	0,890	0,783	0,942	0,865	0,844
Предсказанная уро- жайность, ц/га	32,3	23,7	25,8	34,8	35,6	27,1
Фактически получен- ная, ц/га	28,4	22,4	23,2	29,5	28,3	24,3
Оправдываемость, %	86,1	94,0	89,0	82,2	73,9	88,5
2019 год						
R ²	0,961	0,903	0,825	0,957	0,878	0,883
Предсказанная уро- жайность, ц/га	28,7	24,8	29,7	35,9	35,5	27,0
Фактически получен- ная, ц/га	34,4	26,7	23,2	36,7	33,2	26
Оправдываемость, %	83,6	92,8	71,9	97,7	93,2	96,3

В таблице представлены результаты сопоставления данных официальной статистики по урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом с результатами прогнозирования при использовании линейной регрессии, основанной на индексе NDVI и метеорологических параметрах,

для моделей, обученных на данных 2017-2019 гг. Произведена оценка агрометеорологических прогнозов исходя из квалификации количественных значений оправдываемости [3].

Можно заметить, что в среднем оценка оправдываемости прогнозов превышает 85%, но присутствуют неточности, например в Минской области за 2018 год и в Гомельской за 2019. Это связано с аномально низкой урожайностью и требует ввода дополнительных предикторов.

Исследование показало, что величина отклонения от тренда урожайности при прогнозировании с использованием множества предикторов может отличаться от области к области по своей величине, но при этом она совпадает по знаку. Следует отметить, что коэффициент детерминации модели не имеет прямой зависимости на оправдываемость, но влияет на стабильность результата.

ВЫВОДЫ

В работе построена линейная регрессионная модель с нелинейным трендом для прогнозирования биопродуктивности сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь на основе спутниковых данных и метеорологических параметров. В качестве предикторов использованы: вегетационный индекс NDVI, среднесуточная температура, осадки. Использование результатов прогнозирования урожайности на основе комбинированных данных наряду с результатами, полученными другими методами позволяет повысить качество прогнозов, что может повысить эффективность управления решениями в сельском хозяйстве.

Библиографические ссылки

1. Куссуль Н.Н., Кравченко А.Н., Скакун С.В., Адаменко Т.И., Шелестов А.Ю., Колотий А.В., Грипич Ю.А. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS // Сборник научных статей "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". — 2012. — Том 9, №1. — С. 95–107
2. Kogan F., Salazar L., Roytman L. Forecasting crop production using satellite-based vegetation health indices in Kansas, USA // International Journal of Remote Sensing. — 2012. — 33, N 9. — P. 2798–2814
3. ТКП 17.10-19-2017 (33140). Порядок составления и оценки агрометеорологических прогнозов. – Минск, 2017.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МНИМЫХ ЗАГОЛОВКОВ ТЕКСТОВ ПУБЛИКАЦИЙ

Е. А. Войтович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

svoyakkaunt@gmail.com;

науч. рук. – Д. В. Щегрикович, канд. физ.-мат. наук, доц.

В работе приводится сравнительный анализ результатов работы алгоритмов определения мнимых заголовков, рассматриваются этапы алгоритмов и их альтернативы. С целью поиска алгоритмов с большим обобщающим показателем тестирования производилось на нескольких наборах данных с разнообразным соотношением видов заголовков и объёмами соответствующих содержаний. Методы состоят из разнообразных комбинаций моделей векторизации текста и алгоритмов изучения скрытых представлений, а также параметров, используемых для предсказания метки. Сравнительный анализ позволит найти наилучшую модель бинарной классификации соответствия одной текстовой информации другой.

Ключевые слова: методы машинного обучения, семантическое сходство, критерии качества классификации.

ВВЕДЕНИЕ

Рост числа онлайн-СМИ повлек за собой распространение заголовков, не соответствующих своему содержанию. С целью борьбы с такими источниками данных используются алгоритмы, основанные на семантическом сходстве и механизмах внимания.

Основные этапы методов идентификации мнимых заголовков представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Этапы алгоритма определения мнимых заголовков

Механизмы внимания — это подход в машинном обучении, заключающийся в выделении части данных для более детальной обработки.

Семантическое сходство – это показатель, определяемый для набора документов или терминов, где идея расстояния между ними основана на сходстве их значения.

МЕТОДЫ И НАБОРЫ ДАННЫХ

Были рассмотрены следующие методы:

- Первый метод представляет собой модель глубокого семантического сходства, которая использует глубокие нейронные сети, чтобы получить латентные представления входных данных и вычислить сходство в скрытом пространстве представлений. Затем вычисленные глобальные сходства используются для прогнозирования. Для предварительной обработки текстовых функций используются N-граммы.

- Второй метод аналогичен предыдущему, но для изучения скрытых представлений используются сверточные нейронные сети.

- Третий метод сначала использует внимательные двунаправленные методы, основанные на рекуррентных нейронных сетях (biRNN от англ. bidirectional recurrent neural network), для изучения входных данных, а затем объединяет скрытые входные данные с информацией о взаимоотношениях, которая изучается с помощью сиамской сети для окончательного предсказания.

- Четвертый метод использует word2vec для преобразования текстовой информации в вектор, а затем использует сверточную нейронную сеть классификации текста (text-CNN от англ. text classification convolution neural network) для прогноза метки.

- Пятый метод опирается на «лингвистически насыщенную» нейронную сеть с двумя подсетями: долгой краткосрочной памяти (LSTM от англ. long short term memory) и сверточной нейронной сети. Подсеть LSTM принимает в качестве входных данных последовательность слов, а вторая подсеть состоит из двух плотных слоев, которые принимают в качестве входных данных вектор лингвистических признаков.

- В шестом методе текстовая информация векторизируется с помощью глобальных векторов (GloVe от англ. global vectors), а для изучения скрытых представлений используются внимательные двунаправленные рекуррентные блоки (bi-AttGRU от англ. bidirectional attentive gated recurrent units).

- В седьмом методе для изучения скрытых представлений используется biGRU, а для предсказания используется механизм внимания, применимый к локальным сходствам и скрытым представлениям.

- Восьмой метод является упрощенной моделью шестого метода без использования механизма повышенного внимания.

Для тестирования работы алгоритмов были взяты следующие наборы данных:

- Первый набор данных состоит из 20 000 пар заголовков и статей, каждая из которых помечена 5 разными людьми, как связанные или не связанные. Средняя длина заголовка составляет 10 слов, а соответствующие содержания – 50.

- Второй набор данных состоит 75 000 пар заголовков и статей. Средняя длина заголовка составляет 8 слов, а соответствующие содержания – 200.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Качество работы алгоритмов проводилось по четырем критериям: 1) *accuracy* – доля правильных ответов алгоритмов, 2) *precision* – точность идентификации, 3) *recall* – полнота, 4) *F1* – среднее гармоническое *precision* и *recall*.

Результаты классификации на первом и втором наборах данных представлены в таблице 1 и таблице 2 соответственно.

Таблица 1

Результаты работы методов на первом наборе данных

Метод	Accuracy	Precision	Recall	F1
Метод 1	0,817	0,655	0,661	0,658
Метод 2	0,833	0,683	0,643	0,662
Метод 3	0,826	0,699	0,474	0,565
Метод 4	0,844	0,654	0,653	0,653
Метод 5	0,827	0,642	0,621	0,631
Метод 6	0,856	0,719	0,650	0,683
Метод 7	0,860	0,722	0,699	0,710
Метод 8	0,855	0,731	0,618	0,670

Таблица 2

Результаты работы методов на втором наборе данных

Метрика	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4	Метод 5	Метод 6	Метод 7
Accuracy	0,747	0,756	0,859	0,789	0,868	0,879	0,894
Precision	0,894	0,959	0,920	0,852	0,925	0,924	0,722
Recall	0,740	0,762	0,877	0,845	0,884	0,897	0,912
F1	0,811	0,853	0,907	0,857	0,913	0,919	0,928

Результаты показывают, что на небольших объемах данных для векторизации текста лучше подходит *word2vec*, а для больших – *Glove*. При изучении скрытых представлений элементы внимания повышают пол-

ноту данных на 5,2 %. Использование алгоритмов на втором наборе данных показало, что увеличение числа используемых слов содержания увеличивает $F1$ -норму более, чем на 30 %. На рисунке 2а показана зависимость качества обучения от числа используемых слов. На рис. 2б показана зависимость $F1$ -нормы от числа используемых сходств, которая показывает большую значимость локальных сходств над глобальными. Глобальное сходство измеряет сходство между парами входных данных, а локальное сходство – между блоками в парах входных данных.

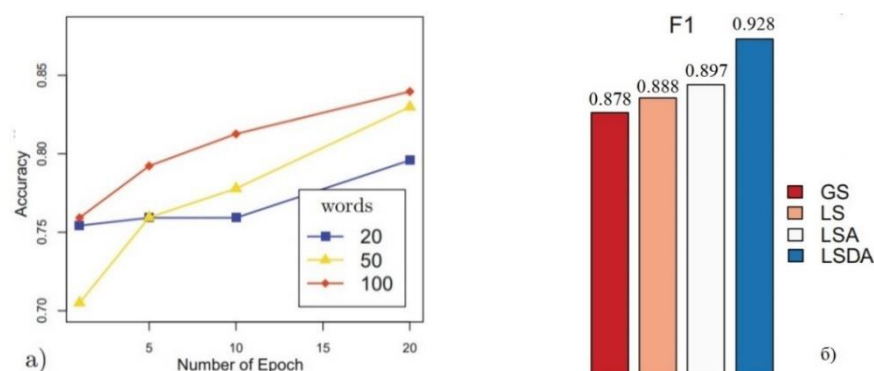


Рис. 2. Зависимость метрик Accuracy и F1 от: а) размера используемого содержания, б) изученных сходств: глобальных (GS от англ. global similarities), локальных (LS от англ. local similarities), локальных с повышенным вниманием (LSA от англ. local similarities with attention), комбинации глобальных сходств и скрытых представлений с повышенным вниманием (LSDA)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа работы алгоритмов было выявлено, что такие модели, как CNN и RNN, работают лучше традиционных глубоких нейронных сетей, что в значительной степени зависит от их возможностей захватывать информацию о местоположении слов. Наилучшую производительность показывают двунаправленные сети с механизмом внимания (bi-AttGRU), использующие информацию о локальных сходствах и скрытых представлениях, взятую из всей текстовой информации.

Библиографические ссылки

1. Predicting Clickbait Strength in Online Social Media / V. Indurthi [et al.] // Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics, pp. 4835–4846.
2. Similarity-Aware Deep Attentive Model for Clickbait Detection / M. Dong [et al.] // Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining PAKDD 2019: Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 56-69.

КАЛИБРОВКА БОРТОВЫХ МАГНИТОМЕТРОВ НАНОСПУТНИКА

Ю. А. Володащик

Белорусский государственный университет, г. Минск;

volodashyk5@gmail.com;

науч. рук. – С.В. Василенко, ст. преп.

В работе рассматриваются два метода калибровки бортовых магнитометров наноспутника, широко используемый метод 3х-мерного вращения и статического метода с использованием имитатора магнитного поля. Определяемыми параметрами являются ошибки непосредственно датчиков, а также углы взаимной ориентации осей датчиков, вызванные неточностью процесса монтажа и сборки наноспутника. Приведены краткое описание методов, сравнение и анализ точности их работы, рекомендации по применимости методов. Указано направление дальнейшего совершенствования метода калибровки с использованием имитатора магнитного поля.

Ключевые слова: наноспутник, система ориентации и стабилизации, магнитометры, калибровка, Matlab, клетка Гельмгольца.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сотрудниками и студентами факультета РФиКТ разрабатывается образовательный наноспутник BSUSat-2. Спутник обладает электромагнитной системой ориентации и стабилизации. Для её работы необходимо определять ориентацию наноспутника относительно вектора магнитного поля Земли на основе показаний бортовых магнитометров. Для повышения надёжности измерений используется не один, а совокупность магнитометров, распределённых по объёму спутника.

Однако, в связи с этим, на точность измерения магнитного поля влияют как неидеальные характеристики самих датчиков, так и ошибки их взаимного расположения, вызванные неточностью монтажа микросхем и сборочного процесса в целом.

Наземная калибровка системы бортовых магнитометров наноспутника позволит устранить или, по крайней мере, уменьшить влияние названных факторов на точность измерений.

Различные методы калибровки имеют свои преимущества и недостатки. Различаются по точностным характеристикам, количеству определяемых параметров, сложности процесса и условиям применимости.

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Исследования проводились в среде Matlab, с использованием модели инерциальных датчиков IMU [1]. Используемые параметры, задающие модель магнитометра:

- Диапазон измерений
- Разрешение
- Постоянное смещение датчика
- Чувствительность
- Неортогональность осей датчика
- Плотность шума

Чувствительность осей не является встроенным параметром модели, поэтому его необходимо было создавать дополнительно.

Система определения ориентации предполагалась состоящей из двух магнитометров. Дополнительно к параметрам каждого из датчиков задавалась их взаимная ориентация с помощью углов Эйлера. Система координат датчика 1 предполагалась совпадающая с СКС. Численные значения параметров, указанные в таблице 3, были взяты с ориентировкой на реальные характеристики из технической документации интегральных магнитометров.

Таблица 3.

Численные значения параметров модели

Параметр	Датчик 1	Датчик 2
Диапазон измерений, мкТ	400	380
Разрешение, $\frac{\text{мкТ}}{\text{LSB}}$	0.0140	0.0146
Постоянное смещение датчика, мкТ	[10 8 1]	[5 8 5]
Чувствительность	[1 1 1]	[1.0000 0.9920 1.0101]
Плотность шума, $10^{-9} \frac{\text{мкТ}}{\sqrt{\text{Гц}}}$	[70 70 50]	[70 50 50]
Внешнее магнитное поле, мкТ	[16.984 2.583 48.479]	

В работе исследовалось два метода калибровки:

- трёхмерного вращения
- с использованием имитатора магнитного поля.

Схема вычислительного эксперимента приведена на *Рис. 1*. Разница для двух методов учитывалась в блоке «Моделирование».

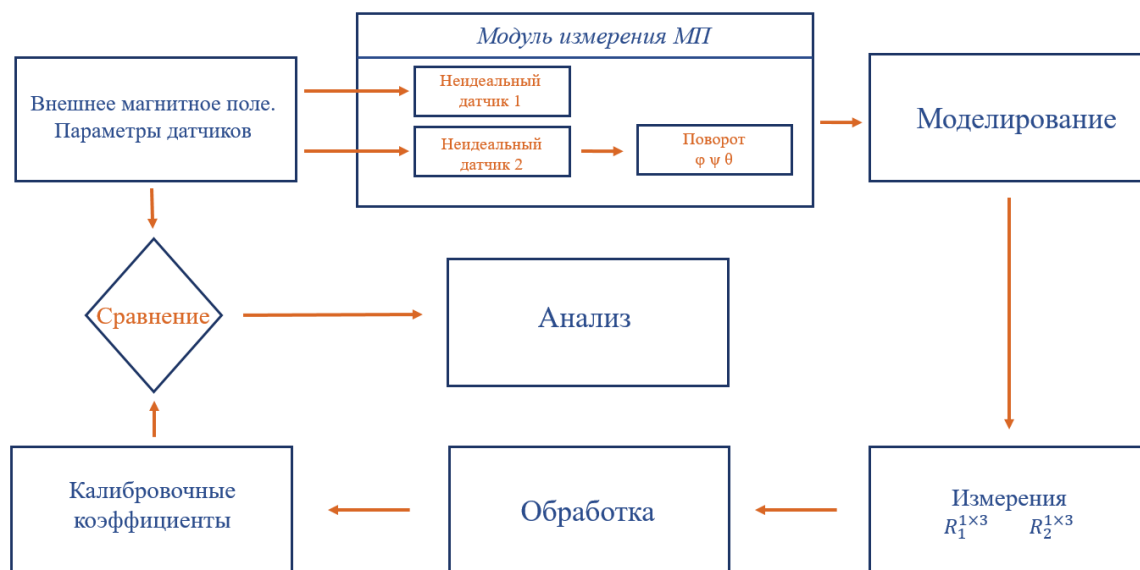


Рис. 1. Схема вычислительного эксперимента

В первом методе калибровки модель спутника равномерно вращалась во всевозможных направлениях в однородном магнитном поле Земли; во втором - спутник устанавливался статично в имитаторе магнитного поля (клетке Гельмгольца), затем создавалось поле одной амплитуды, но различного направления, в присутствии магнитного поля Земли, количество направлений было взято равным шести. Показания магнитометров аппроксимировались эллипсоидом вращения. По параметрам эллипсоидов находились калибровочные коэффициенты. По откалиброванным показаниям датчиков находилась их взаимная ориентация.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты определения параметров датчиков приведены в Таблица 4. Как видно, точность определения заданных параметров модели немного выше при первом методе калибровки, это можно объяснить большим количеством измерений, участвующих в обработке. При втором методе калибровки оказалось невозможным отличить смещение нуля датчика от постоянной составляющей внешнего магнитного поля Земли. Однако, это не помешало определить углы взаимной ориентации датчиков данным методом, см. Таблица 5.

Таблица 4.

Точность определения параметров датчиков 1, 2

Метод	Смещение нуля, мкТ		Чувствительность осей XYZ	
	Заданное	Полученное	Заданная	Полученная
1	[10 8 1] [5 8 5]	[10.0002 8.0010 1.0026] [5.0736 8.0646 5.0403]	[1 1 1] [1 0.99 1.01]	[1.0000,1.0001,0.9999] [1.0001 1.0000 0.9999]
2		[26.9850 10.001 49.4760] [23.6511 10.2391 54.412]		[0.9749 1.0030 1.0227] [0.9487 1.0763 0.9794]

Таблица 5.

Точность определения ориентации датчиков

	Углы Эйлера, °		
	φ	ψ	θ
Заданные	51	-10	128
Метод 1	50.9272	-10.1701	128.1583
Метод 2	51.4239	-10.8443	128.2230

ВЫВОДЫ

Методом 3х-мерного вращения возможно получить как калибровочные параметры самих датчиков, так и ошибки, связанные с неточностью монтажа системы датчиков. Однако, им не решается проблема ориентации системы координат датчиков относительно системы координат связанной со спутником.

Используя метод статичной калибровки в имитаторе магнитного поля возможно получить все калибровочные параметры за исключением смещения нуля. Есть основания полагать, что данным методом возможно произвести полноценную калибровку при относительно небольшом (2-3) количестве повторений процесса при различных ориентациях наноспутника в имитаторе. Преимуществом данного метода являются возможность определения взаимной ориентации СКД и СКС. Также его достоинством является безопасность процесса калибровки собранного наноспутника.

Библиографические ссылки

1. IMU Simulation model. Matlab. [Electronic resource] URL: https://www.mathworks.com/help/fusion/ref/imu.html?s_tid=srchtitle (date of access: 24.05.2021).
2. MEMS магнитометр LIS3MDL. [Electronic resource] URL: <https://static.chipdip.ru/lib/401/DOC001401806.pdf> (date of access: 24.05.2021).

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЙ

А.А. Герасимович

*Белорусский государственный университет, г. Минск
sw145@mail.ru*

науч. рук. – Е.А. Чудовская, канд. физ.-мат. наук, доц.

На сегодняшний день в мире большое количество удобных мобильных приложений, многие из которых не могут похвастаться высоким уровнем безопасности. В последнее время значительно возросло число успешных хакерских атак на пользовательские приложения. В результате таких атак похищаются не только огромные денежные средства, но и пользовательские данные. Это связано с тем, что современные приложения имеют массу уязвимостей разной степени риска: уязвимости только высокого риска были обнаружены в 38 % мобильных приложений для iOS и в 43 % приложений для Android. Большинство проблем с безопасностью встречается на обеих платформах. Небезопасное хранение данных – самая распространенная проблема, встречающаяся в 76 % мобильных приложений. Под угрозой находятся пароли, финансовая информация, личные данные и переписка. Большинство случаев вызвано слабостью механизмов безопасности (74 % и 57 % для приложений iOS и Android соответственно и 42% для серверных компонентов). В данной работе описывается недавно обнаруженная уязвимость в операционной системе Android, ее суть, проблематика и возможный способ решения. Ценность работы заключается в смещении приоритетов при разработке в сторону подхода, ориентированного на безопасность приложений. Множество уязвимостей, которые используют злоумышленники, уже известны, но недостаточно изучены, следовательно, в них необходимо разобраться.

Ключевые слова: Android, уязвимость, StrandHogg, безопасность.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день количество устройств, работающих на операционной системе Android, превышает 2,5 миллиарда единиц [1] и это число с каждым годом растет. Такое количество обусловлено ценовой доступностью устройств, легкостью разработки под данную операционную систему, интуитивностью ее использования. Однако, такое широкое распространение приводит к тому, что злоумышленники стремятся воспользоваться уязвимостями системы и атаковать как можно больше пользователей. Об одной из таких уязвимостей и пойдет речь.

УЯЗВИМОСТЬ STRANDHOGG

Исследователи в сфере безопасности ОС Android нашли [2] доказательства существования чрезвычайно опасной уязвимости, позволяющей

вредоносным приложениям притворяться обычными приложениями, в то время, как пользователи даже не подозревают, что они атакованы.

ЗОНА РИСКА

Абсолютно все версии ОС Android;
практически все популярные приложения Google Play Market.

УГРОЗЫ

- Прослушивание пользователя через микрофон его устройства;
- фото и видео съемка с использованием камеры устройства;
- чтение и отправка SMS-сообщений;
- возможность удалённо совершать звонки пользователя;
- кража личных данных авторизации;

Всего специалистами было обнаружено 36 вредоносных приложений, использующих данную уязвимость. Среди них были разновидности так называемого BankBot [3] - банковского вируса, активно используемого в 2017 году. Во время тестирования было выявлено, что все самые популярные приложения уязвимы подобного рода атаке. Все версии ОС Android подвержены риску.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТУПА

Уязвимость позволяет вредоносному приложению запрашивать разрешения, притворяясь другим, совершенно безвредным приложением. Это могут быть любые разрешения, включая доступ к SMS, фото, микрофону, GPS. Все эти разрешения позволяют читать сообщения, просматривать фотографии, записывать речь и контролировать передвижения ничего не подозревающего пользователя.

Суть атаки заключается в запросе разрешений, не вызывающих подозрений, будучи запрашиваемыми тем приложением, которому пользователь доверяет. Человек, не подозревающий об атаке, дает эти разрешения приложению, притворяющемуся приложением, которое пользователь хочет открыть.

Используя данную уязвимость, установленное вредоносное приложение может атаковать устройство следующим образом: когда пользователь нажимает на иконку нужного ему безвредного приложения, вместо него открывается вредоносное приложение, заменяющее интерфейс ориги-

нала. После ввода данных при логине или регистрации, информация моментально отправляется злоумышленнику, который получает доступ к аккаунту и может им управлять.

ОБЪЯСНЕНИЕ УЯЗВИМОСТИ

Проблема заключается в уязвимости системы мультизадачности ОС Android, позволяющая одним приложениям маскироваться под другие. Эта уязвимость основана на настройке управления Android под названием «taskAffinity» [4], которая позволяет любому приложению, в том числе вредоносному, свободно использовать любую личность в желаемой многозадачной системе.

Описанная выше уязвимость работает, когда вредоносное приложение устанавливает флаг taskAffinity для одного или нескольких своих действий в соответствии с packageName любого стороннего приложения. Затем, либо в сочетании с allowTaskReparenting = "true" в манифесте, либо путем запуска активности с флагом FLAG_ACTIVITY_NEW_TASK [5], вредоносная активность будет размещена внутри задачи жертвы и поверх нее.

Таким образом, вредоносная активность захватывает задачу цели. В следующий раз, когда целевое приложение будет запущено из меню, захваченная задача будет выведена на передний план, и вредоносная активность будет видна. В этом случае вредоносное приложение должно выглядеть как целевое приложение, чтобы успешно запускать атаки против пользователя.

МАСКИРОВКА АТАКИ

Уязвимость сосредоточена на активностях и их перемещениях между задачами в системе многозадачности Android. При запуске двух или более мероприятий одновременно с функцией startActivity (android.content.Intent[]), вредоносное приложение может начать атаку и «стать» приложением, которое кажется невиновным.

Если взглянуть на выходные данные активностей, видно, что атакующая активность уже на месте и скрывается до следующего запуска приложения. И действительно, при следующем запуске приложения-жертвы, пользователь увидит атакующее приложение вместо приложения-жертвы.

МОНИТОРИНГ ЗАДАЧ

Злоумышленник может получить значительный контроль над задачей жертвы. Комбинируя с намерениями FLAG_ACTIVITY_NEW_TASK [5]

и FLAG_ACTIVITY_CLEAR_TASK [5], злоумышленник сначала очищает целевую задачу, а затем попадает в нее. Далее он может завершить целевую задачу с помощью finishAndRemoveTask и запустить новую задачу с той же привязкой к FLAG_ACTIVITY_NEW_TASK [5] и FLAG_ACTIVITY_MULTIPLE_TASK [5] и, таким образом, создать новую целевую задачу, которая гарантированно будет под контролем злоумышленника. После этого он может запустить фактическую активность программы жертвы и позволить приложению жертвы работать в обычном режиме, что нейтрализует у пользователя любые подозрения о взломе.

СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УЯЗВИМОСТИ

- Внимательность пользователя;
- наличие антивирусного ПО;
- установка приложений только из официальных источников;
- установка разработчиком ПО привязки к задаче на «» (пустая строка) для всех активностей его приложения.

Однако важно уточнить, что вышеперечисленные способы лишь частично снижают риск.

Хотелось бы отметить важность построения мощной и качественной безопасности в приложениях. Реализация такого уровня безопасности лежит целиком и полностью на плечах разработчиков, которые зачастую думают о красоте, функциональности и доходах, нежели о защищенности их приложений, что зачастую приводит к катастрофическим последствиям как для их пользователей, так и для авторитета их компаний. Современный подход требует обратной расстановки приоритетов, в котором на первом месте будет стоять вопрос безопасности мобильных приложений и устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день в операционной системе Android по-прежнему остаются подобные уязвимости, с которыми работают специалисты по безопасности и разработчики Google. И несмотря на то, что у большинства из этих уязвимостей уже есть способы их решения, все еще остаются те, которыми продолжают пользоваться злоумышленники. И это не говоря о тех уязвимостях, которые ждут своего времени, чтобы быть обнаруженными и использованными. Задача разработчиков остается в предвидении всех возможных способов защиты, а рядовых пользователей – во внимательности и аккуратности при использовании своих Android-устройств.

Библиографические ссылки

1. Статистика Android-устройств в мире [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ixbt.com/news/2019/05/08/2-5-google-android.html> (дата обращения: 24.03.2021).
2. The StrandHogg Vulnerability [Электронный ресурс]. URL: <https://promon.co/security-news/strandhogg/> (дата обращения: 25.03.2021).
3. Банкер Android.BankBot.149 стал грозным оружием киберпреступников [Электронный ресурс]. URL: <https://news.drweb.ru/show/?i=11772&lng=ru> (дата обращения: 25.03.2021).
4. Android Developers Activity [Электронный ресурс]. URL: <https://developer.android.com/guide/topics/manifest/activity-element> (дата обращения: 28.03.2021).
5. Android Developers Intent [Электронный ресурс]. URL: <https://developer.android.com/reference/android/content/Intent> (дата обращения: 28.03.2021).

РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ СНИЖЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ БИОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

А. А. Горбунова

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
anastasia.gorbunova.so@yandex.ru;
науч. рук. – Н. Н. Яцков, канд. физ.-мат. наук, доц.*

В работе представлены результаты сравнительного анализа алгоритмов методов главных и независимых компонент, стохастического вложения соседей с t -распределением, равномерного приближения и проекции, многомерного шкалирования, неотрицательного матричного разложения для классификации данных об экспрессии генов в заболевании рака груди. Сравнительный анализ реализованных методов выполнен на данных о метилировании ДНК, экспрессии микроРНК и информационной РНК молекулах, представляющих кластеры различной сложности. Наилучшим алгоритмом является метод равномерного приближения и проекции, точность классификации которого на данных о метилировании ДНК – 73%, экспрессии микроРНК – 69%, экспрессии информационной РНК – 79%.

Ключевые слова: алгоритмы снижения размерности данных; экспрессия генов; классификация; метилирование ДНК; микроРНК; информационная РНК; критерии качества анализа.

ВВЕДЕНИЕ

Высокопроизводительные геномные технологии становятся стандартом для молекулярной диагностики рака [1]. Геномные секвенаторы нового поколения позволяют регистрировать большие наборы экспериментальных данных о нуклеотидном составе молекул ДНК/РНК, что затрудняет визуализацию, интерпретацию и понимание результатов. Алгоритмы снижения размерности данных частично или полностью устраняют это ограничение, проецируя данные в пространство нескольких измерений с сохранением важных свойств объектов [2].

Среди существующих алгоритмов снижения размерности данных следует выделить наиболее перспективные методы, такие как метод главных компонент (далее используется аббревиатура PCA от англ. principal component analysis), метод независимых компонент (ICA от англ. independent component analysis), метод стохастического вложения соседей с t -распределением (tSNE от англ. t-distributed stochastic neighbor embedding), метод равномерного приближения и проекции (UMAP от англ. uniform approximation and projection), многомерное шкалирование (MDS от англ. multidimensional scaling), метод неотрицательного матричного разложения (NMF от англ. non-negative matrix factorization) [1, 3].

Цель работы – сравнить эффективность наиболее популярных алгоритмов снижения размерности данных в применении к решению задачи группировки данных эпигеномного метилирования ДНК (meDNA от англ. DNA methylation), микроРНК (miRNA от англ. Micro RNA) и информационной РНК (mRNA от англ. messenger RNA), получаемых в экспериментах геномного секвенирования по исследованию рака груди (BRCA от англ. Breast Cancer).

АЛГОРИТМЫ СНИЖЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ

Рассмотрим кратко методы снижения размерности данных. Основная идея PCA – уменьшение размерности набора данных, сохраняя переменные с наибольшей вариаций. ICA преобразует исходные признаки наблюдений объекта исследования в независимые подкомпоненты. tSNE, нелинейный метод уменьшения размерности, моделирует новый набор данных таким образом, что подобные объекты отображаются ближайшими точками в сниженном пространстве. UMAP – метод визуализации и нелинейного снижения размерности, особенностью которого является построение взвешенного неориентированного графа. MDS создает карту, отображающую относительные положения ряда объектов. На карте преобразуются расстояния между объектами. NMF – линейный алгоритм, суть которого состоит в разложении исходной матрицы данных на две простые, упрощающие дальнейшую обработку, при условии, что матрицы не будут иметь отрицательных элементов [4].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Исследованы данные опухолей рака груди, представленные наборами эпигеномного метилирования ДНК, микроРНК и информационной РНК для различных групп пациентов. Взято три набора данных, поскольку каждый из них представляет практическую значимость при диагностике рака груди. Наборы данных различаются по числу генов и пациентов, степени зашумленности, что позволяет всесторонне исследовать эффективность алгоритмов. Наборы данных содержат пять подтипов рака груди BRCA: LumA, LumB, Basal, Her2 и Normal (эталонная группа здоровых людей) (таблица 1). Подтип заболевания используется при оценке эффективности алгоритмов снижения размерности данных при разделении пациентов на кластеры.

Таблица 1

Количество пациентов и генов в наборах данных BRCA

Вид молекулы	Число пациентов					Число генов
	LumA	LumB	Basal	Her2	Normal	
meDNA	430	148	136	46	110	21776
mRNA	579	219	191	82	141	20126
miRNA	407	139	133	58	110	625

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Выполнен анализ данных о метилированной ДНК, микроРНК и информационной РНК молекулах с использованием методов снижения размерности данных. Эффективность алгоритмов оценена по четырём критериям качества анализа: 1) время работы метода – t , 2) отношение средних внутрикластерных и межкластерных расстояний Q_1 , 3) отношение суммы квадратов внутрикластерных и межкластерных расстояний Q_2 , 4) точность классификации наборов данных в сниженном пространстве наиболее информативных компонент с использованием алгоритма случайного леса (с англ. – «Random forest») acc_{RF} .

РЕЗУЛЬТАТЫ

Реализованы методы PCA, ICA, tSNE, UMAP, MDS и NMF. Результаты сравнительного анализа алгоритмов для трех наборов данных представлены в таблице 2, диаграммы наиболее информативных компонент для набора данных meDNA – на рисунке. Наилучшие результаты в ходе анализа данных meDNA получены для алгоритма UMAP, для которого значения критериев $Q_1 = 26$ и $Q_2 = 19$, $acc_{RF} = 73\%$, что ненамного ниже, чем в исходном пространстве признаков (79%), время работы – $t = 33$ с. Время работы алгоритма с увеличением объёма данных и сложности существенно не изменяется. Установлено более четкое разделение подтипов рака Basal, Normal и Her2, в сравнении с другими алгоритмами. Кластеры подтипов LumA и LumB плохо делимы.

Таблица 2

Оценки критериев качества работы алгоритмов
на экспериментальных наборах данных

Набор BRCA	t, c						Q ₁					
	PCA	ICA	tSNE	UMAP	MDS	NMF	PCA	ICA	tSNE	UMAP	MDS	NMF
meDNA	2072	1941	2006	33	237	3225	51	51	38	26	51	30
mRNA	2424	1481	1788	45	386	2500	59	29	41	25	29	35
miRNA	8	1	194	3	3	7	52	52	43	38	52	34

Продолжение таблицы 2

Набор BRCA	Q_2						acc _{RF} , %					
	PCA	ICA	tSNE	UMAP	MDS	NMF	PCA	ICA	tSNE	UMAP	MDS	NMF
meDNA	68	67	43	19	67	25	61	50	71	73	61	62
mRNA	66	17	35	15	17	24	56	74	77	79	75	62
miRNA	66	61	51	37	61	27	50	52	67	69	53	56

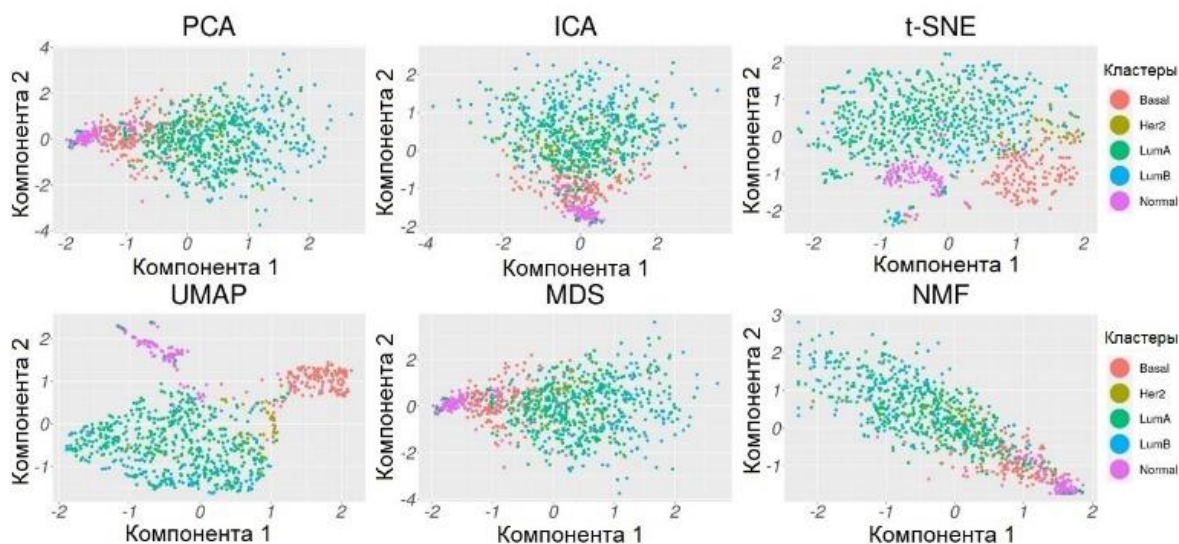


Рис. 1. Диаграммы разброса для кластеров данных meDNA в координатах двух наиболее информативных компонент, вычисленных методами PCA, ICA, tSNE, UMAP, MDS и NMF.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен сравнительный анализ шести методов снижения размерности данных. Наиболее оптимальным алгоритмом снижения размерности данных для исследования экспрессии генов данных рака груди является метод UMAP, точность которого на данных о метилировании ДНК – 73%, экспрессии микроРНК – 69%, экспрессии информационной РНК – 79%.

Библиографические ссылки

1. Li, X. Genomic Analysis of Liver Cancer Unveils Novel Driver Genes and Distinct Prognostic Features / X. Li, W. Xu, W. Kang // *Theranostics*. 2018. № 8. P. 1740–1751.
2. Яцков, Н. Н. Комплексный анализ данных при исследовании сложных бимолекулярных систем / Н. Н. Яцков, В. В. Апанасович // *Информатика*. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 105–122.
3. Maaten, L., Hinton, G. Visualizing data using t-SNE. *Journal of machine learning research*. 2008. Vol. 9, P. 2579–2605.
4. Горбунова, А.А. Сравнительный анализ алгоритмов снижения размерности // 77-я научн. конф. студентов и аспирантов Белорусского государственного университета: материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 11–22 мая 2020 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. Г. Сафонов (пред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2020. – С. 161–164.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КЛАСТЕРОВ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ С УЧЕТОМ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТОВ

В. Н. Гребенник

Белорусский государственный университет, Минск

leragrebennik@yandex.com

науч. рук. – П.П. Коржуков, ст. преп.

В настоящей работе предложен и исследован алгоритм для генерации многомерных наборов данных, которые учитывают информативность подгрупп признаков. Выполнен сравнительный анализ алгоритма счета Фишера, Relief-F и «минимальная избыточность – максимальная релевантность» на смоделированных данных, которые показывают работоспособность модели в контексте данной работы. Рассмотренные методы способны отбирать информативные признаки в многомерных данных, которые имеют большое количество шумовых признаков. Работа позволяет снизить объем обрабатываемых данных, что дает возможность получить значительно более простые прогностические модели, что повышает их интерпретируемость.

Ключевые слова: отбор признаков, имитационное моделирование, шумовые признаки.

ВВЕДЕНИЕ

Активно развивающиеся информационные технологии и оборудование, позволяют получать многомерные наборы данных. Многомерные наборы данных представляют собой некоторые объекты исследования, характеризующиеся набором признаков [1]. Основная часть признаков в таких данных неинформативна, что приводит к снижению точности анализа и к высокому потреблению вычислительных ресурсов [1].

Для выбора информативных признаков используются методы автоматического отбора признаков [2]. Существующие методы достаточно просты и направлены на анализ несложных данных. Однако проблема заключается не в методах, их можно улучшить, зная точно, что требуется найти в наборах данных, а в использовании адекватных наборов экспериментальных или смоделированных данных, позволяющих тщательно исследовать алгоритмы методов

Цель работы – разработка имитационной модели кластеров многомерных данных с учетом информативности признаков для тестирования алгоритмов автоматического отбора признаков.

МЕТОДОЛОГИЯ

Входными параметрами имитационной модели являются: число кластеров в генерируемом наборе данных; число не шумовых, шумовых и избыточных признаков; степень разделимости кластеров; значение или диапазон значений размеров кластеров. На рис. 1 представлена блок-схема имитационного алгоритма.

В основе модели лежит мера или степень разделимости близлежащих кластеров. В качестве метрики используется индекс разделимости Цю и Джо [3].



Рис. 1. Блок-схема имитационного алгоритма

Рассмотрены кластеры данных, характеризующиеся различной степенью разделимости. Индекс разделимости для хорошо разделяющихся кластеров положен равным 0,64, для удовлетворительно разделяющихся кластеров – 0,34, и для плохо разделяющихся кластеров – 0,1 (за основу взята экспертная оценка).

Для проверки применимости предложенного подхода выбраны следующие методы отбора признаков:

- алгоритм счёта Фишера [4],
- алгоритм Relief-F [5],
- алгоритм минимальная избыточность - максимальная релевантность [6],
- алгоритм быстрого фильтр на основе корреляции (FCBF) [7].
- Данные алгоритмы позволяют осуществлять ранжирование признаков по значимости и являются вычислительно эффективными.

Метод классификации k -ближайших соседей не имеет каких-либо внутренних механизмов отбора признаков, поэтому и выбран в качестве оценки точности классификации на заданном наборе признаков [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью, проведения сравнительного анализа алгоритмов отбора признаков в условиях большого числа шумовых признаков был сгенерирован набор данных, содержащий 40 информативных и 10 шумовых признаков. На рис. 2 представлена матрица рассеивания 2 кластеров, индекс разделимости равен 0,64, атрибуты x13 и x15 являются шумовыми.

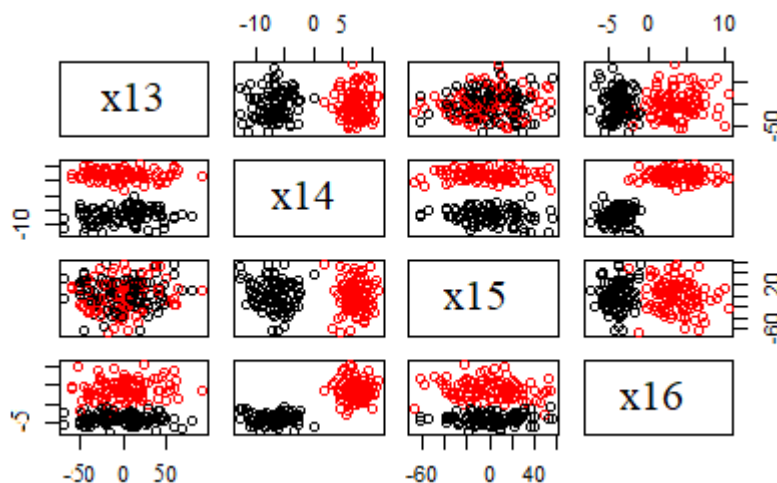


Рис. 2. Матрица рассеивания четырех признаков, кластеры имеют хорошую разделимость. X13 и X15 шумовые признаки

В таблице 1 представлена частота отбора шумового признака исследуемыми методами в условиях разной разделимости кластеров.

Таблица 1

Частота отбора шумовых признаков методами

Индекс разделимости	Счет Фишера	Relif F	mRMR	FCBF
0,64	0	0,4	0,3	0
0,34	0	0,8	0,4	0
0,1	0	0,8	0,4	0

Из таблицы можно сделать вывод, что методы отбора: счет Фишера и FCBF за все время проведения эксперимента показали хорошие результаты, не отобрав ни одного шумового признака. Плохой результат показал метод Relif F, так как вероятность отбора шумовых признаков достаточно высока. Из этого можно сделать вывод, что критерий отбора признаков не справляется с поставленной задачей. Неплохой результат показал метод mRMR. В отличие от Relif F, вероятность отбора шумового признака при удовлетворительном разделении кластеров достаточно мала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложена и исследована имитационная модель для тестирования алгоритмов отбора признаков. Уникальной особенностью модели является генерация многомерных наборов данных с заданной степенью разделимости и различной информативности признаков. Результаты исследования алгоритмов отбора признаков на смоделированных данных демонстрируют применимость модели.

Исследованы подходы [4], [5], [6] и [7] для генерации. Методы демонстрируют свою применимость в контексте разработанной имитационной модели.

Библиографические ссылки

1. *Hanan Samet* Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures // Morgan Kaufmann Publishers – 2006. ISBN 13: 978-0-12-369446-1
2. *L.Ladha* Feature Selection Methods And Algorithms // International Journal on Computer Science and Engineering Vol. 3 May 2011 - IJCSE11-03-05-051, ISSN : 0975-3397
3. *Qiu, W.L.* Generation of Random Clusters with Specified Degree of Separation / W.L. Qiu, H. Joe //Journal of Classification. – Vol. 23(2). – 2005. – P.315–334. DOI: 10.1007/s00357-006-0018-y
4. *Quanquan Gu, Zhenhui Li, Jiawei Han* Generalized Fisher Score for Feature Selection // Proceedings of the 27th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, UAI 2011
5. *Marko Robinik-Sikonja, Igor Kononenko* Theoretical and Empirical Analysis of ReliefF and RReliefF // Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands – Machine Learning, 53, 23–69, 2003.
6. *Zhenyu Zhao, Radhika Anand, Mallory Wang* Maximum Relevance and Minimum Redundancy Feature Selection Methods for a Marketing Machine Learning Platform. DOI: 10.1109/DSAA.2019.00059
7. *Lei Yu, Huan Liu* Feature Selection for High-Dimensional Data: A Fast Correlation-Based Filter Solution // Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003), Washington DC, 2003
8. *Oliver Sutton* Introduction to k Nearest Neighbour Classification and Condensed Nearest Neighbour Data Reduction // February, 2012. Corpus ID: 18781499

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ СО СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

А. А. Гуринович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

anastasiagurinovich@gmail.com;

науч. рук. – А. И. Головатый, канд. физ.-мат. наук

Работа посвящена проектированию архитектуры мобильного приложения с использованием дополненной реальности. Разработка сможет обеспечить визуализацию пространственных фигур с помощью смартфона или планшета, позволит производить дополнительные геометрические построения. Освещены развитие и перспективность использования технологий дополненной реальности. Проанализированы особенности существующих приложений данной тематики. Рассмотрены основные принципы построения дополненной реальности. Сформулированы задачи и требования к приложению. Произведено сравнение различных AR-фреймворков. Для реализации выбрана подходящая виртуальная среда Unity и AR-технология Vuforia Engine. Спроектированы спецификации и прототипы мобильного приложения. Приложение может использоваться в старших классах средней школы в качестве дополнения к существующим учебным пособиям по геометрии.

Ключевые слова: дополненная реальность, мобильное приложение, стереометрия, Unity3D, Unified Modeling Language, прототип мобильного приложения.

ВВЕДЕНИЕ

Дополненная реальность вносит отдельные искусственные элементы в восприятие реального мира при помощи компьютерных технологий. Развитие этой отрасли стремительно набирает обороты и является очень актуальным.

Исследования показывают, что образовательные приложения с использованием дополненной реальности отличаются высокой информативностью и ежедневной практичностью. Также использование таких технологий увеличивает когнитивные функции в 1,9 раза [1].

В старших классах школьники сталкиваются с таким разделом геометрии как стереометрия. Один из важных критериев успешного изучения задач по данной теме – это развитое пространственное мышление. Правильное восприятие пространства многим дается после многократных построений стереометрических фигур, выполнения упражнений, направленных на преобразования.

Использование смартфонов и специальных программных средств помогает напрямую взаимодействовать с объектами, тем самым обеспечи-

вая полное погружение в информационную ситуацию и активизируя восприятие информации. Поэтому цель данной работы – проектирование архитектуры образовательного приложения для визуализации и работы со стереометрическими объектами в дополненной реальности.

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ПРИЛОЖЕНИЮ

Задачи, которые решает приложение:

- построение на экране смартфона 3D модели фигуры в режиме дополненной реальности при наведении на 2D рисунок на страницах книги;
- просмотр фигуры в текстурированном виде или в виде каркаса;
- наличие справочной информации о конкретной задаче, и геометрических объектах, использующихся в ней;
- переход в режим дополнительных построений (возможность добавлять новые точки на фигуру, проводить отрезки, задавать их параллельность и перпендикулярность);
- возможность посещения режима дополнительных построений, не выбирая задачу из учебника, для построения собственных пространственных фигур.

Функциональные требования:

- возможность авторизации в приложении;
- возможность сохранения своих построений;
- оперативная загрузка фигуры для конкретной задачи;
- просмотр справочного материала о задаче;
- возможность производить собственные построения.

Нефункциональные требования:

- простота в использовании для любого пользователя;
- поддержка кроссплатформенности;
- интуитивно понятный интерфейс.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ

Для разработки выбрана среда Unity. В Unity3D определено множество готовых объектов: к ним относятся куб, сфера, цилиндр. Также существует возможность определить свои трехмерные объекты. Настроить цвета, расположение в пространстве, отображение теней. И, главное, у среды есть поддержка возможности создания VR и AR приложений.

Для построения сцен в дополненной реальности используется маркерная технология. Под маркером понимается объект, расположенный в окружающем пространстве, который используется для последующего

отображения виртуальных объектов. На основе информации о положении маркера в пространстве, программа может точно спроецировать на него виртуальный объект [2]. В проектируемом приложении в качестве маркеров будут использоваться существующие 2D-рисунки, размещенные в учебном пособии.

Проведено сравнение как более, так и менее распространенных технологий для работы с дополненной реальностью. Поскольку есть требование к кроссплатформенности, то выбрана технология Vuforia Engine. Также она предоставляет удобные инструменты для работы с маркерами и возможность симуляции в среде разработки.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ

В соответствии со сформулированными задачами и поставленными требованиями спроектированы спецификации приложения [3]:

- несколько основных диаграмм вариантов использования:
 - работа пользователя с главным меню;
 - работа пользователя в библиотеке задач;
 - работа пользователя в режиме геометрических построений (рис. 1).
- объектная модель;
- диаграммы деятельности;
- диаграмма компонентов.



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования «Режим геометрических построений»

Приложение будет иметь несколько экранов: главное меню, экран авторизации, экран библиотеки задач и режима дополнительных построений (рис. 2).

На экране главного меню расположено три кнопки, при нажатии на которые происходит переход к другим разделам приложения. На экране авторизации отображаются кнопки для входа в систему, регистрации нового пользователя и регистрации с использованием аутентификации с помощью учётной записи Google.

На экране библиотеки задач представлены: кнопка возврата в главное меню, кнопка, которая показывает справочную информацию о задании, кнопка для перехода в режим геометрических построений, и фигура, отображающаяся в режиме дополненной реальности. Экран геометрических построений выглядит подобным образом, правда добавляется кнопка, которая обеспечивает сохранение произведенных построений, кнопка, изменяющая текстуру фигуры, и непосредственно кнопки возможных геометрических построений.

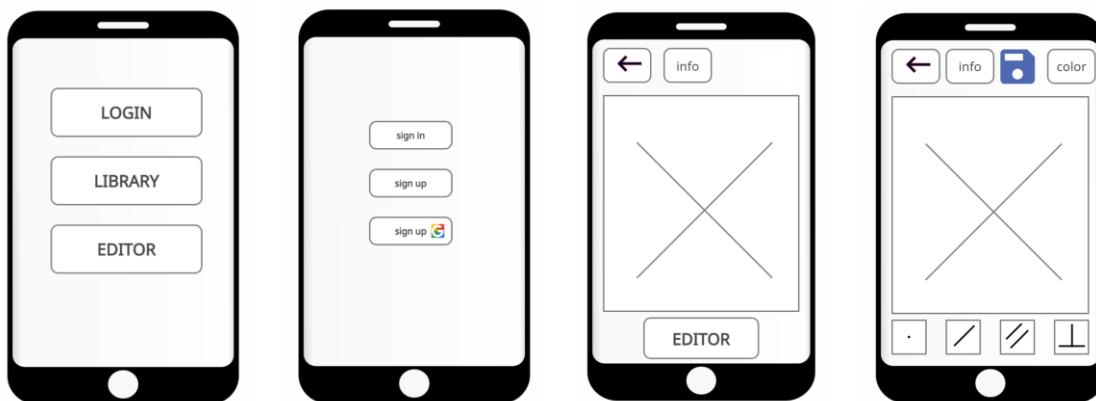


Рис 2. Прототипы экранов

ВЫВОДЫ

Основными преимуществами внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности называют наглядность, реалистичность и практико-ориентированность. Совмещение цифровых и реальных объектов предоставляет возможность нового способа решения проблем в области работы с пространственными фигурами.

Спроектированное приложение может быть использовано как вспомогательный инструмент при решении стереометрических задач из школьного курса геометрии.

Библиографические ссылки

1. Akçayır, Murat, Gökçe Akçayır. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature.
2. Благовещенский И. А., Демьянков Н. А. Технологии и алгоритмы для создания дополненной реальности. Моделирование и анализ информационных систем, 2013, том 20, номер 2.
3. Крэг Л. Применение UML и шаблонов проектирования. Москва : Издательский дом «Вильямс», 2004.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ РАДИОЛИНИИ «КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ – НАЗЕМНЫЙ ПРИЕМНИК»

Я. О. Жевняк

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
zhevnyakuadviga@gmail.com;
науч. рук. – А. В. Поляков, канд. физ.-мат. наук, доц.*

Настоящая статья посвящена исследованию источников затухания и зашумления радиосигналов при распространении в естественных радиотрассах. Приведена методика расчета энергетических потерь радиосигнала в спокойной атмосфере. Также приведен расчет эквивалентной шумовой температуры приемной системы. Получены частотные зависимости энергетических потерь и шумовой температуры приемной антенны. Установлен диапазон частот, соответствующий минимальным энергетическим потерям.

Ключевые слова: энергетические потери радиолинии, потери в атмосфере, шумовая температура.

ВВЕДЕНИЕ

К сегодняшнему дню спутниковые радионавигационные системы были внедрены почти во все сферы человеческой жизни. Помимо военной и гражданской навигации они нашли свое применение в топографии, геодезии, службах точного времени, строительстве, сельском хозяйстве, добыче полезных ископаемых, спасательных работах и т.д. [1]. Столь широкое распространение показывает, насколько важным является обеспечение передачи навигационной информации с требуемой скоростью и достоверностью.

Выбор параметров радиолинии, в особенности рабочего диапазона частот, определяется множеством факторов, оказывающих влияние на величину энергетического запаса в радиолинии. В данной работе приведено описание математической модели энергетических потерь радиосигнала в атмосфере. Целью проведения исследования является определение частотных зависимостей параметров, характеризующих потери и шумы в радиолинии.

ПОТЕРИ В АТМОСФЕРНЫХ ГАЗАХ

Потери сигнала в спокойной атмосфере обусловлены в основном поглощением кислородом и водяным паром тропосферного слоя [2].

Удельное поглощение кислородом, дБ/км:

$$L'_k = 0.321 \frac{Pf^2}{T^2} \left[\frac{\Delta_1 P}{(f/30)^2 + (\Delta_1 P)^2} + \frac{\Delta_2 P}{(2 + f/30)^2 + (\Delta_2 P)^2} + \frac{\Delta_2 P}{(2 - f/30)^2 + (\Delta_2 P)^2} \right], \quad (1)$$

удельное поглощение водяным паром, дБ/км:

$$L'_b = 5.72 \frac{\rho f^2}{T^{2.5}} e^{\frac{644}{T}} \left[\frac{\Delta_3 P}{(f/30 - 0.741)^2 + (\Delta_3 P)^2} + \frac{\Delta_3 P}{(f/30 + 0.741)^2 + (\Delta_3 P)^2} + \frac{0.0163 \rho f^2 \Delta_3 P}{T} \right], \quad (2)$$

где f – частота радиосигнала, ГГц; P – давление, кПа; T – температура, К; ρ – средняя абсолютная влажность воздуха, г/м³; коэффициенты $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ равны:

$$\Delta_1 = \frac{1.26 \cdot 10^{-2}}{T^{0.75}}; \Delta_2 = \frac{3.5 \cdot 10^{-2}}{T^{0.75}}; \Delta_3 = \frac{1.53 \cdot 10^{-2}}{T^{0.5}} (1 + 0.0046\rho).$$

Полные потери в спокойной атмосфере определяются как

$$L_c = \frac{h_k L'_k + h_b L'_b}{\sin \gamma}, \quad (3)$$

где h_k – высота слоя кислорода; h_b – высота слоя водяного пара; γ – угол места антенны земной станции.

В стандартной атмосфере ($T = 290$ К, $P = 101$ кПа, $\rho = 8$ г/м³) высота слоя кислорода $h_k \approx 6$ км, а высота слоя водяного пара рассчитывается по формуле:

$$h_b = \left[2.2 + \frac{3}{(f - 22.3)^2 + 3} + \frac{1}{(f - 183.3)^2 + 1} + \frac{1}{(f - 323.8)^2 + 1} \right]. \quad (4)$$

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА СИСТЕМЫ

Общую мощность шумов на входе приемного устройства можно рассчитать согласно:

$$T_{\text{экв}} = T_A \cdot L_{\text{прм}} + 290 \cdot (1 - L_{\text{прм}}) + (F - 1) \cdot 290, \quad (5)$$

где T_A — шумовая температура приемной антенны, К; F — коэффициент шума приемного малошумящего усилителя; $L_{\text{прм}}$ — потери от выхода антенны до входа приемного малошумящего усилителя [3].

Шумовая температура приемной антенны земной станции рассчитывается согласно:

$$T_a = T_{\text{ат}} + \frac{T_k}{L_a} + \alpha T_{\text{зак}}, \quad (6)$$

где T_k – шумовая температура космического радиоизлучения; $T_{\text{ат}}$ – шумовая температура атмосферы; $T_{\text{зак}}$ – шумовая температура Земли с учетом отраженных от нее атмосферных и космических шумов; $\alpha = 0,2-0,4$ – коэффициент, учитывающий прием результирующего шумового излучения Земли только по боковым лепесткам диаграммы направленности.

Шумовая температура атмосферы определяется как

$$T_{\text{ат}} \cong 275 \frac{L_a - 1}{L_a} \quad (7)$$

Шумовая температура Земли с учетом отраженных от нее космических и атмосферных шумов рассчитывается согласно:

$$T_{\text{зак}} = 290 - \Phi^2 \left(290 - 275 \frac{L_a - 1}{L_a} - \frac{T_k}{L_a} \right) \quad (8)$$

где Φ^2 – модуль коэффициента отражения земной поверхности (по мощности).

На приведенных ниже рисунках представлены частотные зависимости удельных потерь энергии сигнала в спокойной атмосфере и шумовой температуры приемной антенны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Получено, что для интервала частот 1,2–1,6 ГГц, на которых работают радионавигационные спутники, основные потери в спокойной атмосфере происходят на молекулах кислорода, и величина данных потерь составляет приблизительно $7,5 \cdot 10^{-3}$ дБ/км.

2. Установлено, что частоты сигналов спутников находятся вблизи минимума эквивалентной шумовой температуры приемной антенны (90 К) при угле места 30° .

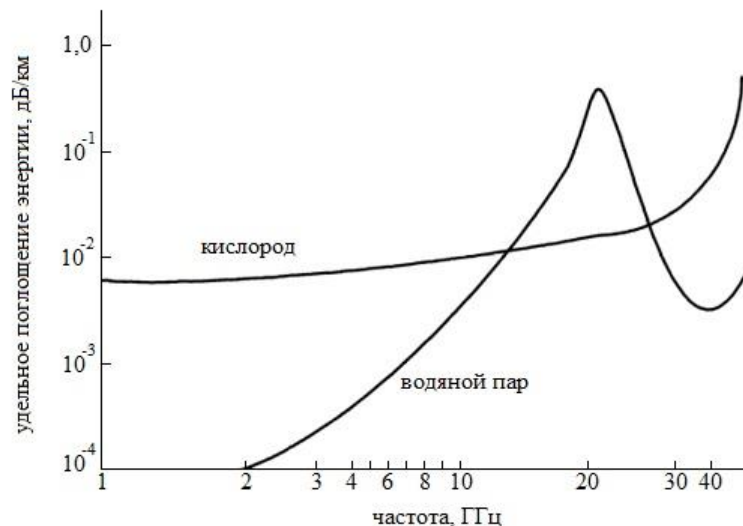


Рис. 1. Составляющие удельных потерь сигнала в спокойной атмосфере ($T = 290$ К, $P = 101$ кПа, $\rho = 8$ г/м³)

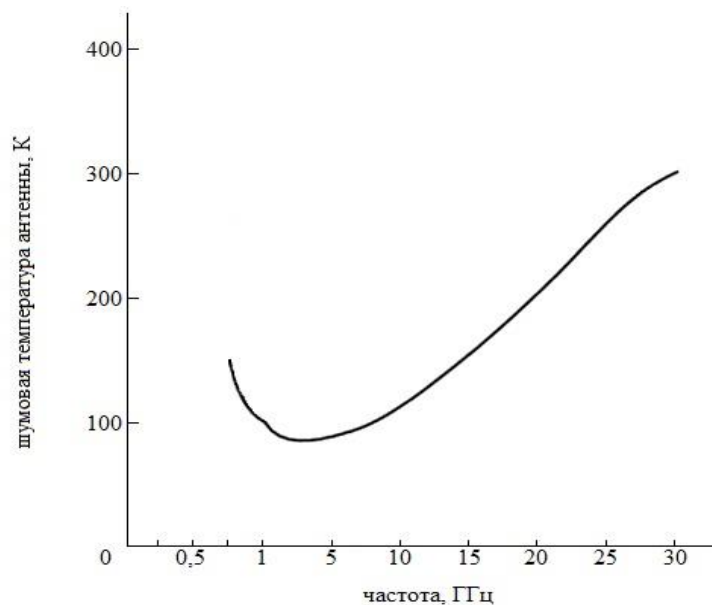


Рис. 2. Шумовая температура приемной антенны
угол места $\gamma = 30^\circ$

Библиографические ссылки

1. GPS Applications [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gps.gov/applications/> (дата обращения: 05.05.2021).
2. Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи: учеб. пособие. М.: «Альпина Паблишер», 2004.
3. Ерохин Г. А., Мандель В. И., Нестеркин Ю. А., Струков А. П. Методика расчета энергетического запаса радиолинии «космический аппарат – станция» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Т. 5, № 1. С. 65–74.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ТИПА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

А. С. Исмаилова, И. Д. Парфимович

*Белорусский государственный университет, г. Минск
ianast@list.ru; irongrivus@mail.ru
науч.рук. – Е. С. Григорчук, ст. преп.*

Проведены исследования влияния поверхностно-активного вещества ОП-7 на создание стабильных дисперсий углеродных нанотрубок. Произведена оптимизация и разработка методических режимов диспергирования углеродных нанотрубок в жидких растворах поверхностно-активных веществ. Показано, что при изменении концентрации поверхностно-активных веществ в растворах с различными типами углеродных нанотрубок коэффициент прохождения электромагнитного излучения может варьироваться как в лучшую, так и в худшую сторону.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки; поверхностно-активные вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Создание стабильных дисперсий углеродных нанотрубок (УНТ) требует тщательного подбора поверхностно-активных веществ (ПАВ). Строение молекул ПАВ, их способность к диссоциации на ионы могут оказывать существенное влияние на процесс равномерного распределения УНТ. Использование неионогенных ПАВ менее требовательно к кислотности растворов и может эффективно работать как в нейтральных, так и в слабокислотных и щелочных средах. Помимо данного факта, эффективность взаимодействия ПАВ с УНТ в большей степени достигается за счет наличия в молекулах ПАВ бензольного кольца, и, в меньшей степени, за счет протяженности молекулярной цепочки [1]. На основании выделенных особенностей был выбран ПАВ ОП-7 – неионогенный ПАВ с бензольным кольцом и протяженным алкильным остатком с 8 – 12 атомами углерода.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследование влияния ОП-7 на создание стабильных дисперсий УНТ осуществлялось путем изготовления водных растворов углеродных нанотрубок различных типов (N3, N4 и промышленно выпускаемые УНТ «Таунит-М») с различной мольной концентрацией ПАВ (1, 10 и 100 мМ) и

измерении прохождения через образцы растворов электромагнитного излучения (ЭМИ) видимого и ИК диапазонов (400 – 1300 нм) на спектрофотометре Lambda 1050 Perkin Elmer.

Процесс изготовления суспензий заключался в предварительном растворении требуемой концентрации ПАВ в водной среде комнатной температуры и смешивании водного раствора ПАВ с УНТ при ультразвуковом воздействии частотой 24 кГц и мощностью, не превышающей 80 Вт, в течение 20 минут. Концентрация УНТ в ходе всего эксперимента для всех типов образцов составила 0,1 г/л.

На рис.1(а) представлены фотографии водных растворов УНТ без ПАВ, подвергнутых УЗ-обработке. Как и ожидалось, УНТ сразу же после окончания процедуры ультразвукового диспергирования, выпали в осадок. Результаты измерений прошедшего ЭМИ излучения ИК-диапазона через образцы растворов представлены на рис.1(б). В отсутствие ПАВ наибольшим эффектом поглощения обладает раствор с массивом УНТ «Таунит-М».

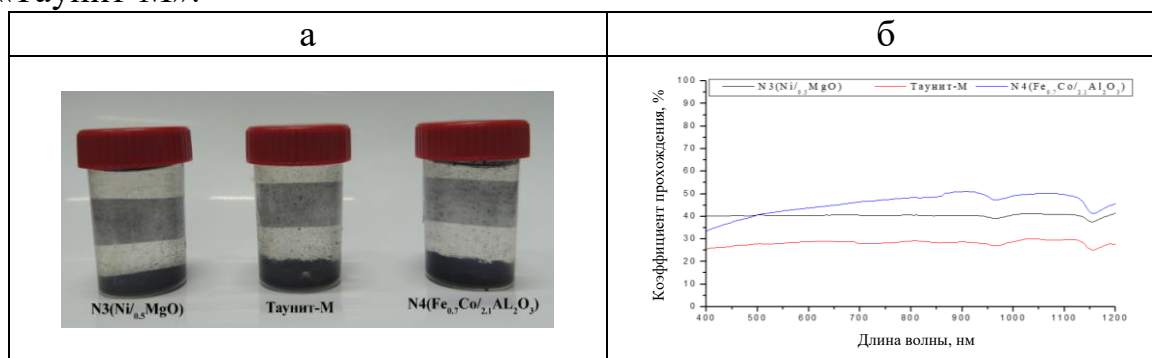


Рис. 1. Оптические фотографии растворов нанотрубок без поверхностно-активных веществ (а) и графики зависимости коэффициента прохождения ЭМИ от длины волны излучения (б)

Добавление в состав раствора 1 мМ ПАВ приводит к образованию устойчивой дисперсии УНТ.

Несмотря на полное сходство цвета растворов в видимом диапазоне, измерения прохождения ЭМИ ИК-диапазона позволяют выделить существенные отличия. Так, для образцов с УНТ Таунит-М и N4 наблюдается полное поглощение излучения, в то время как для образца с УНТ N3 удастся зарегистрировать прошедший сигнал на уровне 1 %.

Стоит отметить, что несмотря на предельно низкие значения коэффициентов прохождения для УНТ Таунит-М и N4 в диапазоне 1000 – 1300 нм, второй тип нанотрубок демонстрирует немного больший уровень ослабления ЭМИ.

Аналогичные зависимости наблюдаются и для растворов с большими концентрациями ПАВ 10мМ и 100мМ (рис. 2).

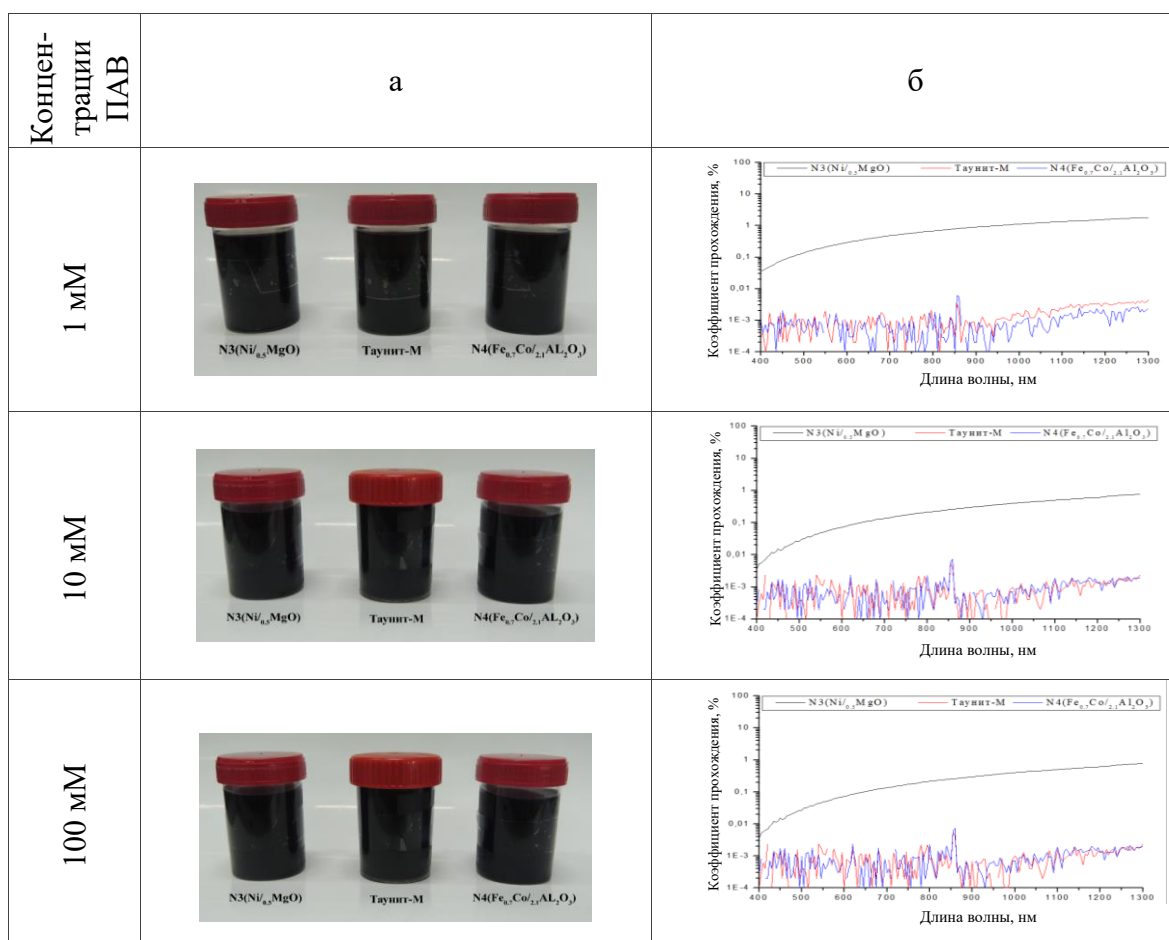


Рис. 2. Оптические фотографии растворов нанотрубок с поверхностно-активными веществами (а) и графики зависимости коэффициента прохождения ЭМИ от длины волны излучения (б)

Для исследования устойчивости дисперсии все измерения были проведены повторно через 5 суток.

Оптические фотографии образцов растворов демонстрируют образование осадка нанотрубок. Повторные измерения взаимодействия ЭМИ с образцами в ИК-диапазоне для 1 мМ-растворов демонстрируют ожидаемое увеличение коэффициента прохождения. При этом для УНТ Таунит-М и N4 увеличение коэффициента прохождения ЭМИ происходит на два порядка, в то время как для УНТ N3 – на один порядок.

В то же время, исследование процесса взаимодействия ЭМИ ИК-диапазона с образцами для 10 мМ-растворов также демонстрируют увеличение коэффициента прохождения. Однако, значения коэффициента прохождения не превышают 1 % для УНТ N3 и Таунит-М, а для N4 – 0,3 %.

Оптические фотографии 100 мМ-растворов демонстрируют образование осадка для образцов с УНТ N3 и Таунит-М (рис. 3).

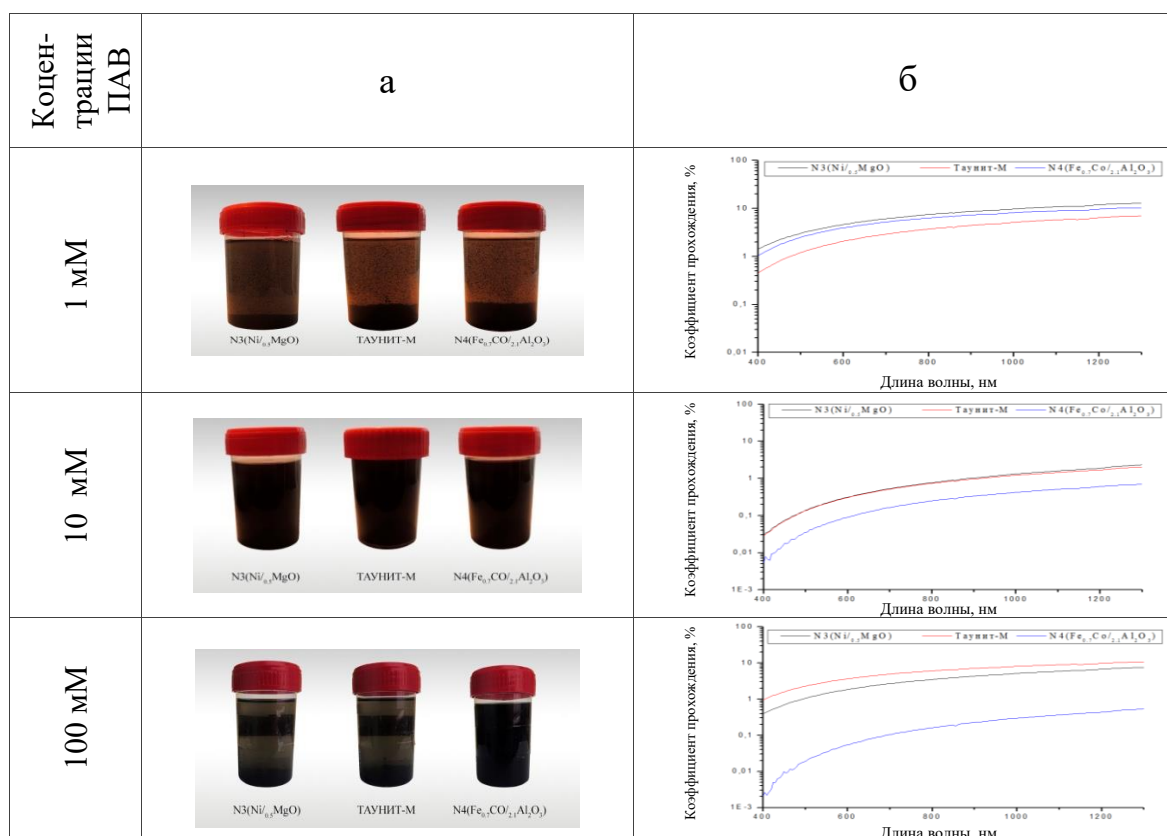


Рис. 3. Оптические фотографии растворов нанотрубок с поверхностно-активными веществами (а) и графики зависимости коэффициента прохождения ЭМИ от длины волны излучения (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследований коэффициента прохождения в ИК-диапазоне позволяет сделать ряд любопытных особенностей:

Увеличение концентрации ПАВ негативно сказывается на образцах растворов с УНТ N3 и Таунит-М. Коэффициент прохождения увеличивается соответственно до 2 и 10 %. При этом для образца с трубками Таунит-М данный показатель является наихудшим среди растворов с ПАВ.

Для растворов с УНТ N4 увеличение концентрации ПАВ, в отличие от вышеупомянутых образцов, сказывается благоприятно. Среди пятидневных растворов данного типа УНТ для 100-мМ концентрации ПАВ наблюдается наименьшее значение коэффициента прохождения ЭМИ, не превышающее 0,2%.

Библиографические ссылки

1. Borode A.O., Ahmed N.A., Olubambi P.A. Surfactant-aided dispersion of carbon nanomaterials in aqueous solution // Physics of Fluids. 2019. Vol. 31, № 7. P. 1 – 24. DOI: 10.1063/1.5105380/

ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

И. П. Климович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

klim.ilya2017@yandex.ru;

науч. рук. – С.В. Василенко, ст. преп.

В данной работе была произведена адаптация реализации модели магнитного поля Земли для выполнения на микроконтроллере. В качестве модели геомагнитного поля использовалась всемирная магнитная модель (WMM). Была произведена верификация и оценка времени расчёта магнитного поля двумя реализациями, с использованием переменных типа float и double. Верификация производилась путём сравнения тестовых значений, взятых из официальной документации, и значений, вычисленных с использованием исследуемых реализаций. Была проанализирована зависимость времени выполнения от частоты процессора. Показано, что адаптированная реализация модели магнитного поля Земли может быть использована в режиме реального времени в алгоритмах ориентации и стабилизации наноспутника при использовании микроконтроллера семейства STM32F3 в качестве бортового компьютера.

Ключевые слова: наноспутник; система ориентации и стабилизации, магнитное поле Земли; World Magnetic Model; микроконтроллер; STM32.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сотрудниками и студентами Белорусского государственного университета разрабатывается образовательный наноспутник формата CubeSat - BSUSat-2. Для работы системы ориентации и стабилизации необходимо определять ориентацию спутника относительно небесных ориентиров. Один из способов – это определение ориентации относительно магнитного поля Земли (МПЗ) в данной точке орбиты. Ориентация спутника относительно вектора внешнего МП измеряется с помощью бортовых магнитометров. Ориентация вектора МПЗ в геоцентрической системе координат (СК) в данной точке орбиты рассчитывается на основе модели МПЗ. Орбитальное положение в географической СК определяется по показаниям приёмника навигационных сигналов. Схема определения ориентации представлена на рис. 1.

Для работы по этой схеме необходима программная реализация модели магнитного поля Земли на бортовом компьютере спутника.

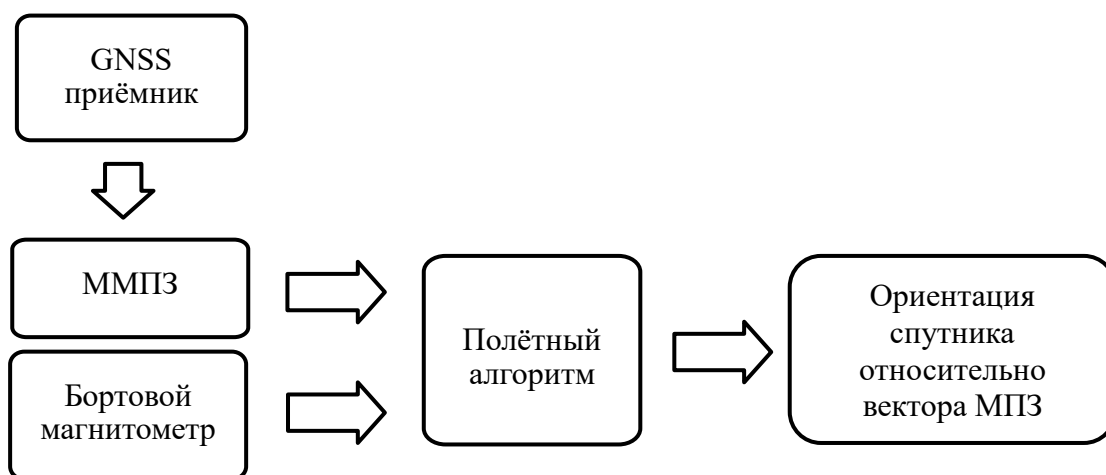


Рис. 2 Схема системы ориентации и навигации наноспутника BSUSat-2

Существуют различные модели МПЗ [1, 2], но их реализация требуют значительных вычислительных ресурсов.

Часто в качестве бортового компьютера используют микроконтроллер, вычислительные ресурсы и объём памяти которого ограничены, интерес представляет оценка возможности определения ориентации относительно вектора МПЗ в режиме реального времени на бортовом микроконтроллере (МК). В работе использовалась реализация модели WMM на языке C.

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Адаптация модели

В результате анализа первоначальной реализации модели WMM было выяснено, что объектный файл занимает порядка 4 МБ памяти, что превышает размер FLASH-памяти большинства современных МК. Оказалось, что в реализации содержится файл, хранящий в себе около миллиона float-коэффициентов для инициализации геоидной модели Земли. Было принято решение использовать эллипсоидную модель Земли, так как GNSS приёмник выдаёт данные относительно эллипсоида (WGS84) и погрешность этой модели в нашем применении будет незначительна. В итоге объектный файл финальной версии проекта занимал около 47 КБ. Также из реализации было исключено использование динамической памяти.

Тестирование

Тестирование проводилось по схеме, показанной на рис. 2.



Рис. 3 Схема тестирования модели WMM реализованной на МК

Для тестирования был написан скрипт в среде MATLAB, реализующий передачу по USB на МК координат точки и даты, и получающий в ответ компоненты вектора магнитного поля и время расчёта алгоритма. Тестирование производилось на отладочной плате STM32F3Discovery с основным микроконтроллером STM32F303VCT6.

В работе производилось тестирование двух реализаций WMM на МК: хранящих данные в переменных типа double и float.

Тестирование производилось по тестовым данным, взятым из официальной документации к WMM [3]. Данные содержат набор точек и верное значение магнитного поля в них. Результаты тестирования показаны в табл. 1.

Таблица 6

Результаты верификации

	Double		Float	
	Средн., нТ	СКО, нТ	Средн., нТ	СКО, нТ
Vx	-0,0052	0,0268	-0,0071	0,0274
Vy	0,0048	0,0293	0,0051	0,0305
Vz	0,0013	0,0291	0,0008	0,0306

В таблице представлены средние значения и среднеквадратичные отклонения величин разности компонент вектора магнитного поля Земли, рассчитанных на МК, и тестовых значений. Результаты показывают, что обе реализации модели на МК могут считаться верными, причём имеющими один порядок точности.

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ

По тестовым данным была произведена оценка времени выполнения двух реализаций модели на МК при различных тактовых частотах.

Измерение времени вычисления выполнялось при частотах процессора 72, 48, 24 и 8 МГц. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 7

Результаты измерения времени выполнения

f, МГц	Среднее T, мкс	
	Float	Double
72	11683	14473
48	13286	17283
24	26734	33419
8	79896	99806

Видно, что среднее время выполнения алгоритма на float меньше времени выполнения алгоритма на double. Объясняется это тем, что микроконтроллер является 32 битным, float-переменная укладывается в регистр и обрабатывается за такт посредством встроенного блока обработки чисел с плавающей точкой (FPU).

В частности, время среднее время расчёта точки во float-реализации при частоте процессора 72 МГц равно 11,683 мс. Это даёт основание полагать возможным использование данной реализации модели МПЗ на бортовом микроконтроллере наноспутника в режиме реального времени.

Библиографические ссылки

1. Страница на сайте организации «Национальные центры экологической информации США» [Электронный ресурс]. URL: https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/wmm_wdownload.shtml (дата обращения: 27.05.2021).
2. Страница на сайте организации «Национальные центры экологической информации США» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html> (дата обращения: 27.05.2021).
3. World Magnetic Model 2020. Report. [Electronic resource]. URL: https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2020/WMM2020_Report.pdf (дата обращения: 27.05.2021).

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРА DJI PHANTOM

Т. В. Мальцева

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
tanjamaltzevatanja@gmail.com;
науч. рук. – Н. Н. Кольчевский, канд. физ.-мат. наук, доц.*

Система Arduino при подключении модулей, предоставляющих возможности беспроводной связи, позволяет передавать экспериментальные данные удаленному пользователю. Рассматривается процесс разработки системы на основе микроконтроллеров Arduino и модулей радиосвязи HC-12. Корпус измерительной системы разработан в системе Компас 3D и изготовлен на 3D принтере Ultimaker 2+. Разработанная и изготовленная система предназначена для использования совместно с квадрокоптером DJI Phantom и позволит оперативно передавать получаемые в ходе измерений данные. В работе обсуждаются другие возможные способы организации беспроводных измерительных систем.

Ключевые слова: DJI Phantom 3; Arduino; Arduino Uno; Компас 3D; Ultimaker Cure 5.0; HC-12; радиосвязь; NodeMCU.

При проведении экспериментов нередко возникает потребность в беспроводной передаче получаемых данных. Использовать существующие компьютеризированные платы Arduino, STM, Rasbery PI и другие выгодно как с точки зрения финансовых расходов, так и с точки зрения отсутствия необходимости проектировать и создавать радиотехническую систему с нуля. Используя платы микроконтроллеров, микропроцессоров и миникомпьютеров, можно создать систему из уже существующих компонентов, что значительно сократит стоимость и время разработки.

Для выполнения данной задачи могут быть использованы платы Raspberry Pi Zero, NodeMCU, Particle Photon, но наиболее дешевым решением будет выбор Arduino. Arduino — разновидность процессорных плат для разработки аппаратно-программных средств на базе микроконтроллеров Atmel ATmega. Данный микроконтроллер является более распространенным среди своих аналогов, что существенно расширит количество доступной информации и упростит поиск необходимых деталей и модулей. Преимущество микроконтроллеров типа Arduino заключается в наличии прошитого в них загрузчика, то есть для работы не требуется наличия аппаратного программатора.

Среда разработки под Arduino находится в открытом доступе, существует также выбор альтернативных программных продуктов. После установки среды разработки Arduino ide 1.8.13 нужно подключить модуль Arduino к USB порту компьютера и удостовериться в диспетчере

устройств, что компьютер опознал устройство. Далее можно приступить к созданию программного функционала.

Для передачи экспериментальных данных с квадрокоптера DJI Phantom необходима система, работающая на расстоянии до 500 метров. Ниже представлена таблица, содержащая информацию о типах беспроводной связи. В ней представлены модули, на которых возможна реализация различных типов связи, в частности ИК [1], Bluetooth [2] и Wi-Fi [3], также их стоимости и максимально возможные скорости передачи. Таблица наглядно иллюстрирует, что наиболее выгодным решением будут являться радиомодули, например, модуль HC-12. Некоторые технические характеристики данной платы: частота приёма и передачи: 2,4 ГГц, напряжение питания: 1,9В – 3,6В.

В рамках проведения курсовой был также протестирован модуль ESP8266, однако расстояние передачи данных не является достаточным.

Таблица

Информация о типах беспроводной связи

Тип связи	Примеры модулей	Стоимость, доллары	Дальность передачи данных
ИК	HX1838	0,72	8 м
Bluetooth	HC-05	2,72	9 м
Wi-Fi	ESP8266	2	100 м
Радиосвязь	HC-12	0,9	100-1000 м (с антенной)

Структурная схема измерительного комплекса будет состоять из двух основных блоков: принимающий сигнал блока и передающего блока (рис. 1). Принимающий сигнал модуль должен быть подключен к компьютеру, мобильному телефону, или же к плате должен быть подключен экран, на самой плате должен находиться и радиопередатчик. Передающий сигнал блок будет состоять из платы Arduino и подключенного радиомодуля, которые будут находиться в едином корпусе, также к этой плате будет подключено измерительно устройство.

Для проверки работоспособностей модулей измерительного комплекса, была собрана следующая схема на макетной плате в двойном экземпляре. Один экземпляр предназначен для реализации принимающего блока, второй - для передающего блока. На принимающую и передающую сигнал платы был загружен код (рис. 2). Предполагалось, что на экране принимающей платы появится сообщение, передаваемое передающим блоком. Результатом загрузки кодов стало то, что можно увидеть сейчас на скриншоте справа. Удавшаяся передача сигнала через радиомодули подтверждает работоспособность отдельных элементов электрической схемы и программ, загруженных в платы Arduino.

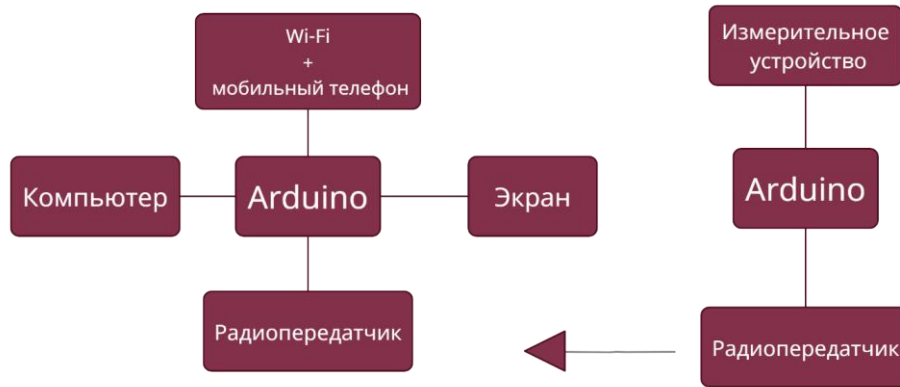


Рис 1. Структурная схема измерительного комплекса

```

#include <SoftwareSerial.h>

#define rxPin 2
#define txPin 3

SoftwareSerial HC12(rxPin, txPin);
long baud = 9600;

void setup() {
  // define pin modes for tx, rx:
  pinMode(rxPin, INPUT);
  pinMode(txPin, OUTPUT);

  Serial.begin(baud);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }
  Serial.println("Serial monitor available... OK");

  Serial.print("Serial link available... ");
  HC12.begin(9600);
  if (HC12.isListening()) {
    Serial.println("OK");
  } else {
    Serial.println("NOK");
  }

  //test HC-12
  Serial.print("HC-12 available... ");
  HC12.write("AT+DEFAULT");
  delay(1000);
  while (HC12.available() > 0) {
    Serial.write(HC12.read());
  }
  Serial.println();
  Serial.println("Initialization done.");
}

void loop() {
  //data is waiting in the buffer
  if (HC12.available() > 0) {
    Serial.print(millis());
    Serial.print(" RF: ");

    while (HC12.available() > 0) {
      Serial.print(char(HC12.read()));
    }
  }
  delay(100);
}

```

```

#include <SoftwareSerial.h>

#define rxPin 2
#define txPin 3

SoftwareSerial HC12(rxPin, txPin);
long baud = 9600;

void setup() {
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

  // define pin modes for tx, rx:
  pinMode(rxPin, INPUT);
  pinMode(txPin, OUTPUT);

  Serial.begin(baud);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }
  Serial.println("Serial monitor available... OK");

  Serial.print("Serial link available... ");
  HC12.begin(9600);
  if (HC12.isListening()) {
    Serial.println("OK");
  } else {
    Serial.println("NOK");
  }

  //test HC-12
  Serial.print("HC-12 available... ");
  HC12.write("AT+DEFAULT");
  delay(1000);
  while (HC12.available() > 0) {
    Serial.write(HC12.read());
  }
  Serial.println();
  Serial.println("Initialization done.");
}

boolean state = false;

void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, state);
  HC12.println("3 кафедрa передает планетный привет.");
  delay(1000);
  state = !state;
}

```

Рис 2. Загруженные коды, программа передачи сигнала (слева) и программа приема сигнала (справа)

Схема измерительного комплекса предполагает, что блоки представляют корпус с размещенными в нём элементами и модулями. Разработанный в среде Компас 3D корпус состоит из двух частей и двух элементов крепления к стойке квадрокоптера DJI Phantom 3. Корпус содержит элементы крепления платы Arduino, отверстия для крепежа, технические отверстия для датчиков, отверстие под провод электропитания, два отверстия под соединение с нижней частью корпуса, крепление для радиомодуля HC-12 и отверстия для антенны.

Файлы, сгенерированные в системе проектирования Компас 3D, были загружены в программу для работы с 3D принтером Ultimaker Cure 5.0 (рис. 3). В программе настраивается процесс и параметры изготовления,

положение и ориентация корпуса и рассчитывается время выполнения, масса и количество слоев. В результате формируется исполняемый файл в формате .gcode, который непосредственно загружается в 3D принтер.

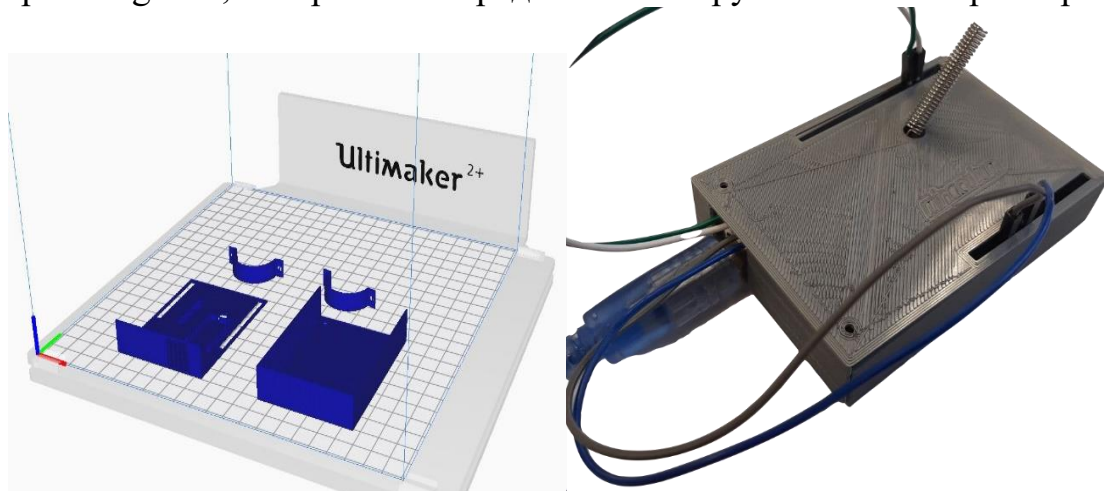


Рис 3. Рабочее окно моделирования работы 3D принтера Ultimaker Cure 5.0 и фотография изготовленного модуля передатчика

Корпус (рис. 3) выполнен из пластика PLA, время его выполнения на 3D принтере составляет 5 часов и 1 минуту. Корпус состоит из 168 слоев пластика PLA. Вес изделия составил 17 граммов.

В целом можно сделать вывод, что успешно освоены этапы проектирования, разработки и изготовления электронных систем на основе Arduino платформы. Изготовлена беспроводная система для передачи экспериментальных данных с квадрокоптера DJI Phantom 3, что в дальнейшем позволит проводить экспериментальные измерения с передачей данных удаленному пользователю.

Библиографические ссылки

1. Описание модуля HX1838 [Электронный ресурс]. URL: <https://robotchip.ru/obzor-modulya-hx1838-s-ik-pultom/> (дата обращения 28.04.2021).
2. Описание модуля HC-05 [Электронный ресурс]. URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/arduino-bluetooth-hc05-hc06/> (дата обращения 02.05.2021).
3. Описание модуля ESP-01 [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/wi-fi-modul-esp-01/> (дата обращения 02.05.2021).

РАСЧЕТ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ В ПРОГРАММЕ ERDAS IMAGINE

Д. А. Марков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

rct.markov@bsu.by;

науч. рук. – В. Р. Ермакович, ст. преп.

В данной работе рассматриваются способы получения снимков интересующей территории, а также рассчитываются три вегетационных индекса (RVI – Ratio Vegetation Index, NDVI – Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI – Green Normalized Difference Vegetation Index) по мультиспектральному снимку участка территории Республики Беларусь. Результатами работы являются значения вегетационных индексов, индексные изображения, полученные после применения вегетационных индексов, диаграмма, отображающая объем растительности и объектов на снимке, в зависимости от применения выбранного вегетационного индекса.

Ключевые слова: Вегетационные индексы; коэффициент отражения; индексные изображения.

Для исследования и оценки состояния растительности, широко применяются *вегетационные индексы*. Они рассчитываются в результате операций с разными спектральными диапазонами данных дистанционного зондирования [1].

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на отражательной способности растений. На красную зону спектра приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (ИК) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Таким образом, данный эффект позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов [2].

В рамках данной работы для расчета вегетационных индексов был выбран мультиспектральный снимок территории Радошковичи-Векшицы-Заславль, сделанный белорусским космическим аппаратом. Данный снимок представлен на (рис. 1 а). Все индексы рассчитываются в программе ERDAS IMAGINE и первый из них называется **RVI** – Ratio Vegetation Index (относительный вегетационный индекс). Он рассчитывается по формуле (1) как отношение излучения в ближнем инфракрасном и красном диапазонах спектра:

$$RVI = \frac{\eta_{NIR}}{\eta_{RED}}, \quad (1)$$

где η_{NIR} – коэффициент отражения в ближней ИК зоне; η_{RED} – коэффициент отражения в красной зоне спектра.

Этот индекс вегетации рассчитывается для оценки количества растительности. На (рис. 1 б) представлено индексное изображение, после применения вегетационного индекса RVI, а в таблице 2 - значения вегетационного индекса RVI.

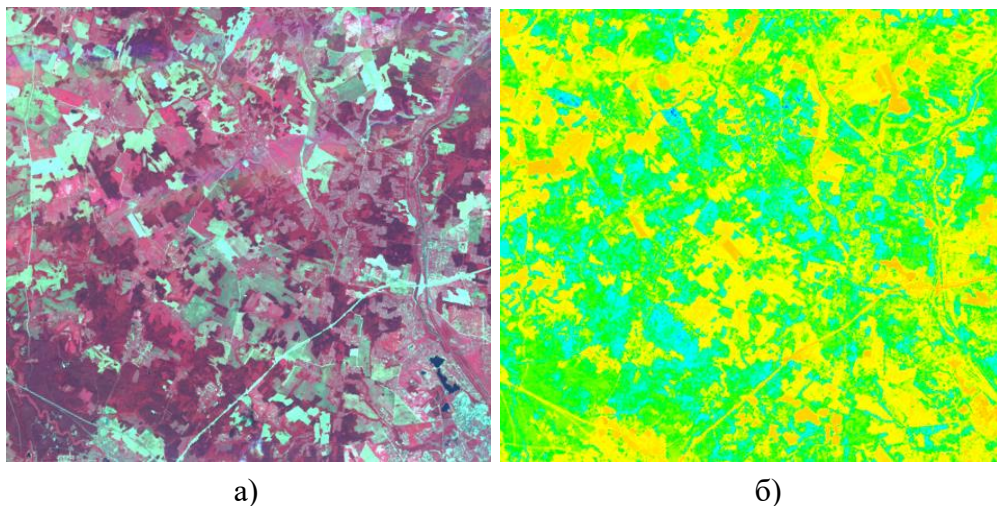


Рис. 1. Представление исследуемой территории: (а) – мультиспектральный снимок; (б) – индексное изображение после применения RVI

Высокие значения присущи растительности с высоким значением индекса площади листа, либо с высокой степенью покрытия почвы, а низкие - для почвы, воды и других нерастительных объектов. Значения варьируются от 0 до, примерно, 30, при этом для здоровой растительности характерны значения от 2 до 8 [3].

Далее рассчитан индекс **NDVI** - Normalized Difference Vegetation Index (нормализованный относительный вегетационный индекс). Этот индекс выдает значения от -1,0 до 1,0. Все отрицательные значения образуются от облаков, воды и снега, значения, близкие к нулю, образуются в основном от скал и голой почвы. Очень маленькие значения (0,1 и меньше) соответствуют пустым областям скал, песка или снега. Умеренные значения (от 0,2 до 0,3) представляют кустарники и луга, в то время как большие значения (от 0,6 до 0,8) указывают на умеренные и тропические леса. Этот индекс рассчитывается по формуле (2) [4]:

$$NDVI = \frac{\eta_{NIR} - \eta_{Green}}{\eta_{NIR} + \eta_{Green}}, \quad (2)$$

где η_{NIR} – коэффициент отражения в ближней ИК зоне; η_{Green} – коэффициент отражения в красной зоне спектра.

На (рис. 2 а) приведено индексное изображение, после применения индекса NDVI, а в таблице 2 – значения индекса NDVI.

Использование не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, уменьшает влияние рассеивающих излучение факторов.

И последний индекс - **GNDVI** – Green Normalized Difference Vegetation Index (нормализованный относительный вегетационный индекс зелени). Похож на NDVI за исключением того, что он вместо красного спектра использует зеленый. По сравнению с индексом NDVI, более чувствителен к концентрации хлорофилла. Применяется при оценке угнетенной и стареющей растительности. Формула (3) показывает расчет вегетационного индекса GNDVI [5]:

$$\text{GNDVI} = \frac{\eta_{NIR} - \eta_{Green}}{\eta_{NIR} + \eta_{Green}}, \quad (3)$$

где η_{NIR} – коэффициент отражения в ближней ИК зоне; η_{Green} – коэффициент отражения в зеленой зоне спектра.

На (рис. 2 б) представлено индексное изображение, после применения индекса GNDVI, а в таблице 2 – значения индекса GNDVI.

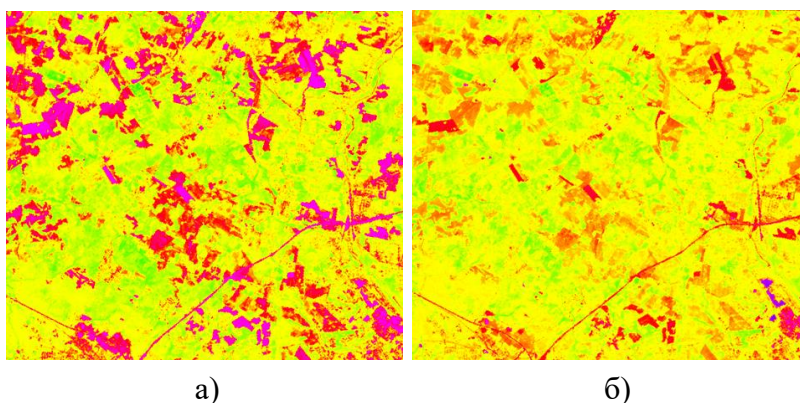


Рис. 2. Индексные изображения: (а) – после применения вегетационного индекса NDVI; (б) – после применения вегетационного индекса GNDVI

В результате можно сказать, что индексное изображение, полученное после применения индекса GNDVI (рис. 3 б) имеет более высокую градацию цвета, чем индексное изображение, полученное после применения индекса NDVI (рис. 3 а). Это можно наблюдать в области контакта воды, почвы и растительности в районе второго черного овала по отношению к первому, и лучшее выделение строительных объектов на фоне земли и растительности в области четвертого черного овала по отношению к третьему. Неточность вычисления NDVI, может быть вызвана «почвенным шумом».

Потому, теоретически, индексное изображение, полученное после применения GNDVI, больше соответствует исследуемой области. Это можно заметить и в таблице 1: объем растительности в случае GNDVI немного меньше, чем для NDVI.

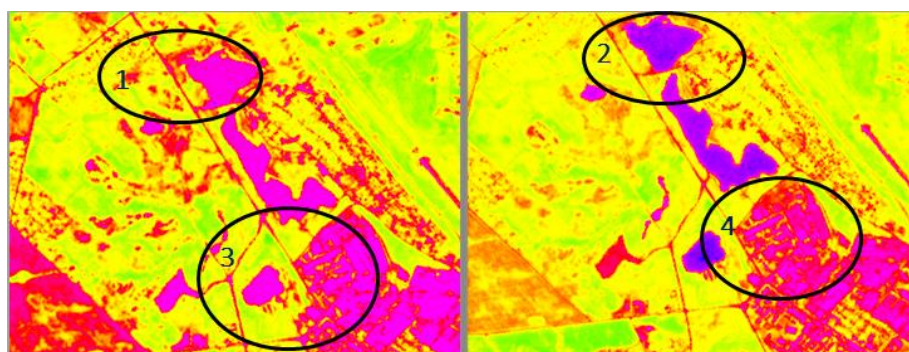


Рис. 3. Участки индексных изображений: (а) – участок после применения NDVI; (б) – участок после применения GNDVI

Таблица 1

Объем растительности и объектов на индексных изображениях, после применения вегетационных индексов

Элемент на индексном изображении	Название индекса		
	RVI	NDVI	GNDVI
Растительность, %	49,0	57,1	40,5
Другие объекты, %	51,0	42,9	59,5

Таблица 2

Диапазон изменения вегетационных индексов и соответствующий ему цвет

Цвет	Значения RVI	Цвет	Значения NDVI	Цвет	Значения GNDVI
Оранжевый	0,24609 – 0,98437	Фиолетовый	(-0,059335) – 0,109276	Фиолетовый	(-0,418394) – (-0,322965)
Желтый	1,44922 – 2,05078	Красный	0,176721 – 0,218874	Фиолетовый	(-0,292427) – (-0,0633978)
Зеленый	2,32422 – 4,01953	Оранжевый	0,244165 – 0,332786	Красный	(-0,0481291) – (0,0243969)
Синий	4,45703 – 5,96889	Желтый	0,416992 – 0,509729	Желтый	0,150363 – 0,299232
Синий	6,39844 – 6,97266	Зеленый	0,556097 – 0,745789	Зеленый	0,310684 – 0,478639

Библиографические ссылки

1. Gis-lab Вегетационные индексы [Электронный ресурс] – URL: <https://gis-lab.info/qa/vi.html> (дата обращения: 14.05.2021).
2. Черепанов А.С. Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. №3(4). С. 28–29.
3. Enterprise.arcgis Арифметика каналов [Электронный ресурс] – URL: <https://enterprise.arcgis.com/ru/portal/10.7/use/band-arithmetic-function.htm> (дата обращения: 14.05.2021).
4. Черепанов А.С. Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. №3. С. 31–32.
5. Agro.geoanalitika Растительность [Электронный ресурс] – URL: <http://agro.geoanalitika.com/ru/products/rastitelnost/> (дата обращения: 14.05.2021).

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ ОБЪЕМНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

А. С. Мигель

Белорусский государственный университет, г. Минск

anton.migel.99@mail.ru

науч. рук. – Н. Н. Полещук, ст. преп.

Важной характеристикой объемных резонаторов, определяющей технико-экономические показатели устройств и систем, в которых они используются, является добротность. Поскольку изменение добротности резонатора влияет на энергетические потери и в конечном итоге связано с эффективностью работы содержащего его прибора или устройства, то исследование способов повышения добротности является актуальной задачей и имеет практическое значение. Объектом исследования был выбран цилиндрический резонатор. Моделирование объемного резонатора осуществлялось с помощью компьютерного приложения CST Studio Suite. Проведены численные расчеты его характеристик в микроволновом диапазоне. Исследовано влияние на величину добротности внесения изменений в конструкцию резонатора в виде фасок и закруглений граней и внедрения диэлектрических вставок.

Ключевые слова: объемный резонатор цилиндрический; добротность; способы повышения добротности; диэлектрические вставки; фаски и закругления.

В микроволновом диапазоне в качестве резонансных электромагнитных систем используются объемные резонаторы, образованные замкнутыми проводящими поверхностями. Одиночные резонаторы или их комбинации применяются в генераторах, многих усилителях, фильтрах, частотных дискриминаторах, измерительных приборах и в других устройствах микроволнового диапазона [1].

Для каждого конкретного вида объемного резонатора существует бесконечный ряд решений уравнений Максвелла, удовлетворяющих граничным условиям. Решения называются собственными типами колебаний резонатора или модами. Каждая мода характеризуется структурой электрического и магнитного полей, частотой колебаний, коэффициентом затухания, добротностью.

Резонансная частота собственных видов колебаний в цилиндрическом объемном резонаторе определяется следующими выражениями [2, 3].

Для колебаний вида E_{mnp} :

$$f_{mnp} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0\mu\epsilon_0\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{\nu_{mn}}{\pi a}\right)^2 + \left(\frac{p}{h}\right)^2}. \quad (1)$$

Для колебаний вида H_{mnp} :

$$f_{mnp} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\mu\epsilon_0\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{\chi_{mn}}{\pi a}\right)^2 + \left(\frac{p}{h}\right)^2}, \quad (2)$$

где ν_{mn} – корень с номером m функции Бесселя порядка n ; χ_{mn} – корень с номером m производной функции Бесселя порядка n ; a и h – радиус и высота резонатора.

Полная или нагруженная добротность заданного колебания определяется по формуле

$$Q = \frac{\omega W}{P} = 2\pi \frac{W}{TP} . \quad (3)$$

Здесь P – полная мощность потерь на заданном виде колебаний (потери в стенках, среде, заполняющей резонатор, потери на излучение во внешние цепи или нагрузку); W – полная энергия, запасаемая в резонаторе на заданном колебании; T – период собственных колебаний идеального резонатора на заданном виде колебания. Для закрытого резонатора основным каналом потерь являются омические потери в стенках резонатора. В этом случае расчет добротностей резонатора на колебаниях E_{mnp} производится по формуле

$$Q_{mnp} = \frac{1}{\delta_{mnp}^0} \frac{ah}{h+2a} , \quad (4)$$

где $\delta_{mnp}^0 = (\pi\sigma\mu_\sigma f_{mnp})^{-1/2}$ – глубина проникновения поля в стенку для колебания E_{mnp} ; μ_σ – магнитная проницаемость стенок, σ – их удельная проводимость.

Расчет добротности резонатора, работающего на магнитных типах колебаний, производится по более сложному выражению:

$$Q_{mnp} = \frac{1}{\delta_{mnp}^0} \frac{a \left[1 - \left(\frac{m}{\chi_{mn}} \right)^2 \right] \left[\left(\frac{\chi_{mn}}{a} \right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h} \right)^2 \right]}{\left(\frac{\chi_{mn}}{a} \right)^2 + \left(1 - \frac{2a}{h} \right) \frac{m^2 p^2 \pi^2}{\chi_{mn}^2 h^2} + \frac{2p^2 \pi^2 a}{h^3}} . \quad (5)$$

Рассмотрим цилиндрический резонатор радиусом 15 мм и высотой 7 мм, выполненный из меди ($\mu_\sigma = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/М, $\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹). Рассчитанные по формулам (1) и (4) частота и добротность на основном колебании E_{010} такого резонатора равны соответственно $f_{010} = 7,659$ ГГц и $Q_{010} = 6319,739$.

Возможности аналитических методов исследования объемных резонаторов ограничены [3]. Поэтому широко используется численное моделирование. При моделировании данного резонатора в компьютерном приложении CST Studio Suite получены следующие значения величин частоты и добротности: $f_{010} = 7,649$ ГГц и $Q_{010} = 6308,282$.

Согласно формуле (3), для увеличения добротности необходимо уменьшать мощность прежде всего омических потерь, равную

$$P = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_\sigma f \pi}{\sigma}} \oint H_\tau^2 dS. \quad (6)$$

Здесь H_τ – амплитуда касательной составляющей магнитной напряженности на стенке. Из формулы (6) видно, что уменьшить потери, а значит увеличить добротность можно посредством уменьшения амплитуды магнитного поля на стенках резонатора. Для этого вносятся различные изменения в конструкцию резонатора.

Рассмотрим, как влияет фаска и закругление граней на значения добротности цилиндрического объемного резонатора радиусом 15 мм и высотой 7 мм с частотой 7,649 ГГц на рабочем колебании E_{010} . Радиус закругления и размер фаски изменялся от 0 мм до 2 мм с шагом 0,2 мм, угол скоса оставался постоянным и равным 45° .

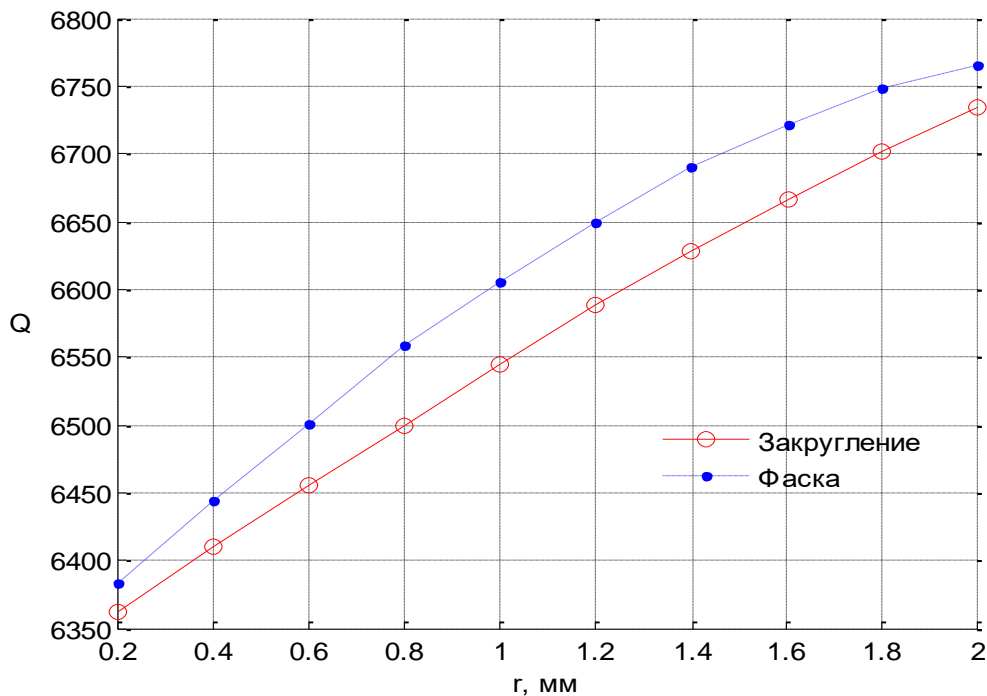


Рис. 1. Зависимость добротности от радиуса закругления (размера фаски)

Как видно из рис. 1, добротность растёт с увеличением радиуса закругления и размера фаски. Применение фаски позволяет получить большие значения добротности, чем закругление граней.

Еще одним способом возможного увеличения добротности резонатора является внедрение диэлектрических вставок. Рассмотрим цилиндрический резонатор с частичным диэлектрическим заполнением в виде двух пластин, который представлен на рис. 2, со следующими параметрами: $h = 13$ мм; $a = 12$ мм; $l = 0,638$ мм; $d = 2,18$ мм.

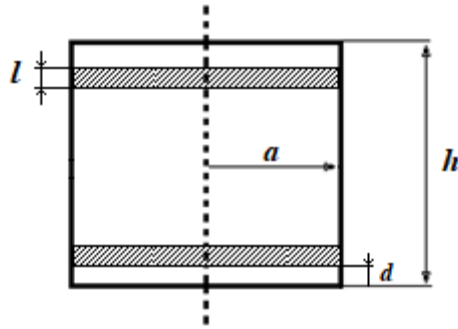


Рис.2. Резонатор с диэлектрическими пластинами

Материал диэлектрических пластин – поликор со следующими параметрами: $\epsilon = 10$, $\mu = 1$, $tg\Delta_\epsilon = 0,0001$. В качестве рабочего выбрано колебание H_{013} с частотой 37,814 ГГц.

Для пустого цилиндрического резонатора с медными стенками с рабочим колебанием H_{013} величина собственной добротности получается равной 18 041. После помещения в него двух диэлектрических пластин величина собственной добротности получилась равной 29 474.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что для повышения добротности цилиндрического объемного резонатора возможно использовать диэлектрические вставки и другие конструктивные изменения резонатора, например, добавление фаски и скругление граней.

Библиографические ссылки

1. Устройства СВЧ и антенны. Ч. 1: Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ/ Под ред. В.А. Неганова. Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.
2. Кураев А.А., Попкова Т.Л., Синицын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие. Москва: ИНФРА-М, 2012.
3. Ильинский А.С., Слепян Г.Я. Колебания и волны в электродинамических системах с потерями. Москва: Изд-во МГУ, 1983.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МАКЕТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА

А. О. Николаев

Белорусский государственный университет, г. Минск;

lesha.nikolaev@mail.ru;

науч. рук. – С. Н. Семенович, канд. техн. наук

В данной работе представлен макет электромеханической системы ориентации с четырьмя маховиками, расположенных в пирамидальной структуре. Приведены результаты выполнения алгоритма одноосной ориентации макета на струнном подвесе, в качестве закона управления реализован ПД-регулятор. Для выбора оптимальных параметров алгоритма и для определения качества выполнения заданных маневров разработана математическая модель ориентации макета.

Ключевые слова: наноспутник; маховичная система ориентации; бесколлекторный двигатель; ПД-регулятор

ВВЕДЕНИЕ

Любой космический аппарат для успешного выполнения своей миссии содержит систему ориентации и стабилизации. Данная система позволяет гасить начальное вращение спутника после отделения от ракеты-носителя, выполнять маневры поворота для наведения бортовых камер, антенн или солнечных панелей. Исполнительными органами при этом могут служить электромагнитные катушки, взаимодействующие с магнитным полем Земли, двигатели с маховиками или реактивные двигатели [1, 2].

Целью данной работы было создание электронного макета маховичной подсистемы ориентации и стабилизации в рамках разработки научно-образовательного наноспутника BSUSat-2.

РАЗРАБОТКА МАКЕТА

Структурно макет состоит из исполнительных органов в виде электродвигателей с маховиками, датчиков обратной связи (магнитометр, гироскоп, датчик направления на Солнце), Bluetooth модуля для удаленного приема управляющих команд и отправки телеметрии и микроконтроллера. Вид созданного макета представлен на рисунке 1.

Четыре двигателя с маховиками расположены в пирамидальной структуре, что обеспечивает возможность реализации трехосной ориентации, а также аппаратное резервирование функциональных узлов системы.

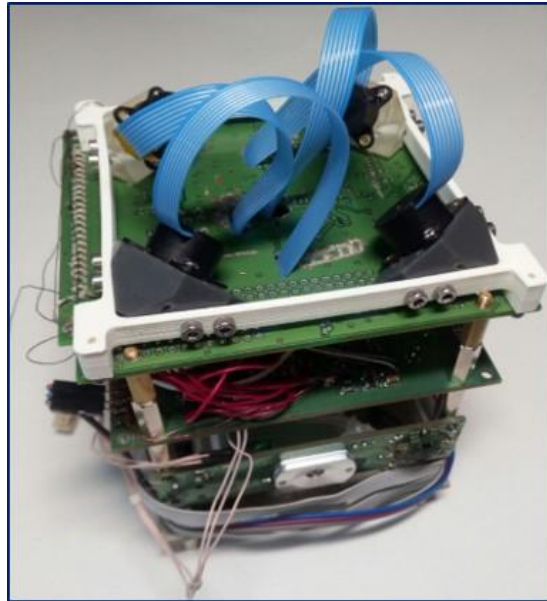


Рис. 1. Макет маховичной системы ориентации

Для вращения маховиков был выбран миниатюрный бесколлекторный двигатель FAULHABER1509 с допуском к работе в условиях вакуума. Данный двигатель содержит три датчика Холла для определения положения ротора. Бесколлекторные двигатели обладают большим сроком службы и более высоким КПД по сравнению с коллекторными двигателями, но требуют более сложных алгоритмов управления [3]. В качестве алгоритма управления данного двигателя было реализовано синусоидальное управление с подстройкой фазы и частоты сигналов на основании показаний датчиков Холла. Данный алгоритм является модификацией шестишагового алгоритма управления. Генерация синусоидальных управляющих сигналов для трех обмоток двигателя осуществляется за счет широтно-импульсной модуляции.

Для определения ориентации макета используется магнитометр lsm9ds1 производства компании STMicroelectronics или датчик направления на Солнце на основе двумерного позиционно-чувствительного оптического сенсора HAMAMATSU S5990 [4]. Магнитный азимут для макета вычислялся как арктангенс отношения измеренных компонент магнитного поля Земли. При экспериментах с оптическим датчиком направления использовался имитатор Солнца [5]. МЭМС гироскоп ism330dlc (STMicroelectronics) использовался для определения текущей скорости вращения макета.

АЛГОРИТМ ОРИЕНТАЦИИ

В качестве простейшего алгоритма ориентации была реализована одноосная ориентация на ПД-регуляторе.

$$M = -k_{\omega} * \Delta\omega - k_{\varphi} * \Delta\varphi$$

Управляющим воздействием является механический момент M , который создают электродвигатели. Входным воздействием регулятора являются $\Delta\varphi$ – отличие текущего направления от желаемого, $\Delta\omega$ – отличие текущей скорости от нуля.

Из анализа динамики данной линейной системы, проведенного в [1] можно получить следующие уравнения, связывающие коэффициенты пропорциональности:

$$k_{\omega} = 2J_s v \xi$$

$$k_{\varphi} = v^2 J_s$$

Для выбора оптимальных параметров была разработана математическая модель ориентации макета по данному закону управления [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ МАКЕТИРОВАНИЯ

На рисунке 2 представлены графики ориентации и стабилизации по магнитному азимуту.

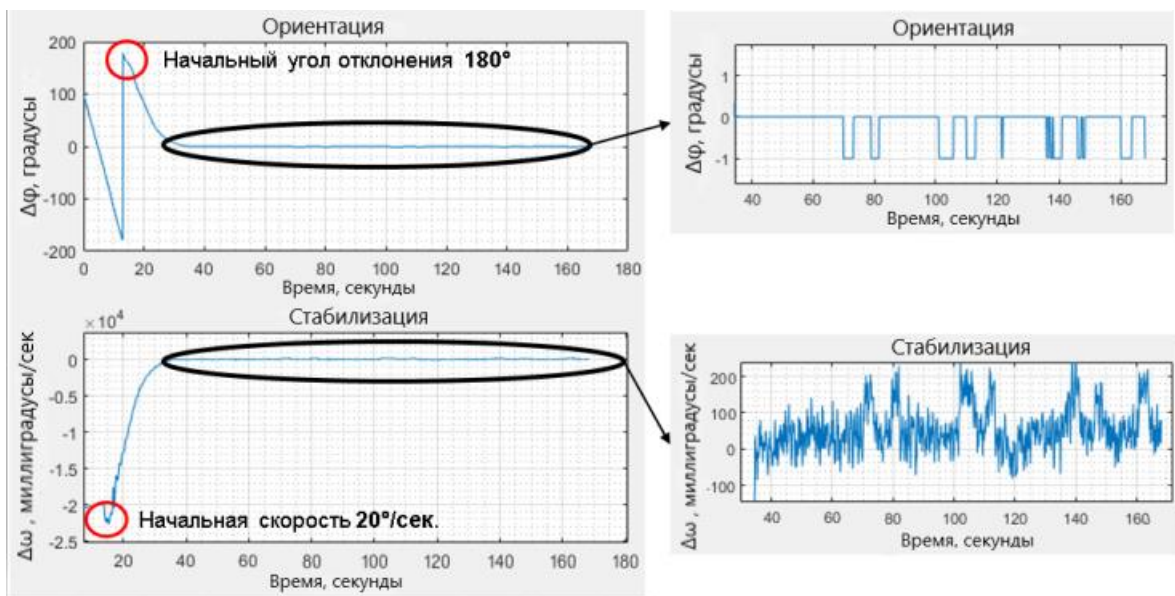


Рис. 2. Графики ориентации и стабилизации по магнитному азимуту

В начальный момент времени макет вращался на струнном подвесе со скоростью 20 °/сек. На 13 секунде макет получил команду погасить вращение и зафиксироваться в заданном положении. Начальный угол отклонения от заданного положения составлял 180 °. Через 25 секунд после начала работы алгоритма макет достиг заданного положения и продолжил поддерживать свою стабилизацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был разработан макет маховичной подсистемы ориентации и реализован базовый алгоритм ориентации и стабилизации на ПД-регуляторе. Проведенные эксперименты доказали работоспособность алгоритма как по магнитометру, так и по датчику Солнца, а также позволили определить время выполнения маневра (20–40 секунд), погрешности наведения ($\pm 1^\circ$) и стабилизации ($\pm 0.2^\circ/\text{сек}$). На данный момент ведется исследование электромагнитных катушек в качестве исполнительных органов ориентации и стабилизации для начального гашения вращения наноспутника и разгрузки маховиков.

Библиографические ссылки

1. *Васильев В.Н.* Системы ориентации космических аппаратов / В.Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с.
2. *Spacecraft Dynamics and Control: The Embedded Model Control Approach/ Enrico Canuto, Carlo Novara, Donato Carlucci, Carlos Perez Montenegro, Luca Massotti.* – 1st ed. – Butterworth-Heinemann, 2018. – 790 p.
3. Бесколлекторные двигатели постоянного тока. Что это такое? [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://blog.avislab.com/brushless01> / - Дата доступа 16.05.2021.
4. *С. В. Василенко, Б. А. Корбут* Автоматизация процесса калибровки датчика направления на солнце // Актуальные вопросы физики и техники : X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1. С. 376 – 379.
5. *А. С. Семенович* Микропроцессорная система управления имитатором солнца для тестирования бортовых подсистем наноспутника // 75-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета : материалы конф. В 3 ч. Ч. 3, Минск, 14–23 мая 2018 г. С. 573 – 576.
6. *А. О. Николаев* Моделирование маховичной системы ориентации наноспутника // Актуальные вопросы физики и техники : X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1. С. 310 – 313.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

С. А. Никуненко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

stanislav.nikunenko@gmail.com;

науч. рук. – В. Р. Ермакович, ст. преп.

В этой статье рассматривается то, что скоро может стать нашим будущим. Целью данной работы является изучение применения данных дистанционного зондирования для задач сельского хозяйства. Для достижения этой цели рассмотрели понятие точного земледелия и в качестве практики построили 3D-модель карты местности в демо-версии ПО Agisoft PhotoScan, используя аэроснимки с беспилотного летательного аппарата – одна из ключевых задач точного земледелия. Результаты статьи в последующем могут быть использованы для достижения других задач точного земледелия.

Ключевые слова: точное земледелие, 3D-модель карты местности, беспилотный летательный аппарат, сельское хозяйство, геоинформационная система Agisoft.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире существует ряд проблем. Одна из таких – обеспечение продовольствием население, которое постоянно растет. По некоторым данным к 2050 г. прирост населения может составить около 2 млрд людей. Экономический вопрос: можно ли иметь больше материальной выгоды в настоящем и будущем при меньших затратах? А также проблема экологии: новая технология не должна отрицательно влиять на нее, что сказывается на нашем проживании на планете.

С этими аспектами связана концепция «устойчивого сельского хозяйства» или, говоря другими словами, увеличение производства продуктов питания без ущерба для будущих поколений людей.

Сегодня эта концепция переросла в понятие точного земледелия.

ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Под точным земледелием подразумевается управление продуктивностью посевов с учетом локальных особенностей каждого поля. Более строгое определение – оптимальное управление ростом и развитием растений на единице площади угодья для получения максимальной прибыли при экономии хозяйственных и природных ресурсов [1].

Главная цель точного земледелия – повышение урожайности сельскохозяйственных культур и производства в целом, уменьшение потерь в

виду возможных болезней, заражений паразитами и т.д. за счет своевременного выявления этих проблем, экономия времени и ресурсов, мониторинг всей культуры, максимизация эффективности будущих инвестиций, простота в использовании данной технологии.

Точное земледелие предполагает следующие шаги:

- получение изображений в различных диапазонах спектра с помощью датчиков высокого разрешения, размещенных на спутниках и беспилотных летательных аппаратах (далее БПЛА);
- построение подробных 3D-карт местности, содержащих данные по всем важным параметрам: состав почвы и растений;
- использование датчиков для проведения агрохимического анализа;
- использование сельскохозяйственной техники, оснащенной различными датчиками и системами, например GPS для позиционирования.

По типу конструкции более предпочтительны вертолетные БПЛА (винтокрылые, мультироторные) [2]. Они могут зависнуть в воздухе и точно воздействовать на поле и/или работать в труднодоступных местах. По функциональному назначению БПЛА делятся на транспортные, мониторинговые, посевные, для внесения удобрений и средств защиты растений [2].

Мониторинг при помощи БПЛА экономически выгоден, поскольку снимки со спутника получать дороже и сложнее (их обычно используют для начальной обработки местности) [3]. БПЛА способен нести полезную нагрузку (15-30 % от всей массы), которая может быть использована для навешивания камер, снимки с которых будут иметь во много раз лучшее разрешение, чем со спутника, что полезно для детальной обработки.

ЭТАПЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ

Рассмотрим этапы на примере производства простого мониторинга.

Первый этап. Отбор и обработка космических снимков среднего разрешения и иных картографических и исторических материалов.

Второй этап. При помощи БПЛА получаем серию снимков местности высокого разрешения в видимом и ближнем ИК диапазоне спектра.

Третий этап. Обработка данных: построение 3D-моделей местности.

Создадим свою 3D-карту. Рассмотрим основные шаги при обработке снимков на практике с использованием ограниченной демо-версии (отсутствует возможность сохранять и экспортировать результаты) ПО Agisoft PhotoScan (Agisoft – геоинформационная система) и заранее готовой серии снимков с БПЛА, шедшей в комплекте с демо-версией:

1. Загрузка фотографий и положений камеры.

2. Выравнивание фотографий. Программа умеет это делать сама, но это требует больше времени, и теряется точность (см. рис. 1).

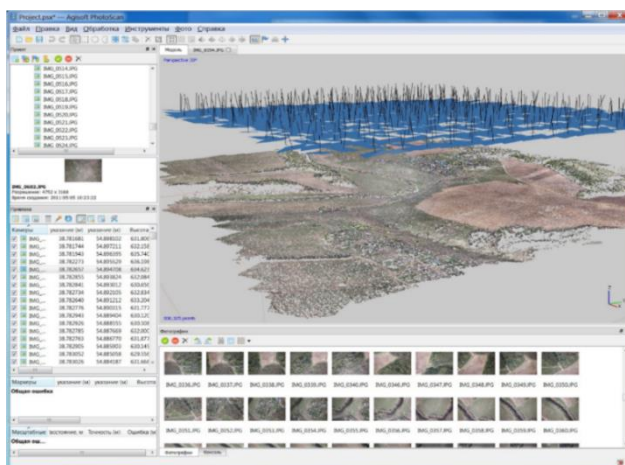


Рис. 1. Получение разреженного облака точек местности при выравнивании фотографий. Прямоугольники сверху показывают положение и ориентацию камер

3. Построение плотного облака точек в отмеченной области.
4. Построение полигональной 3D-модели, текстурирование (рис. 2).

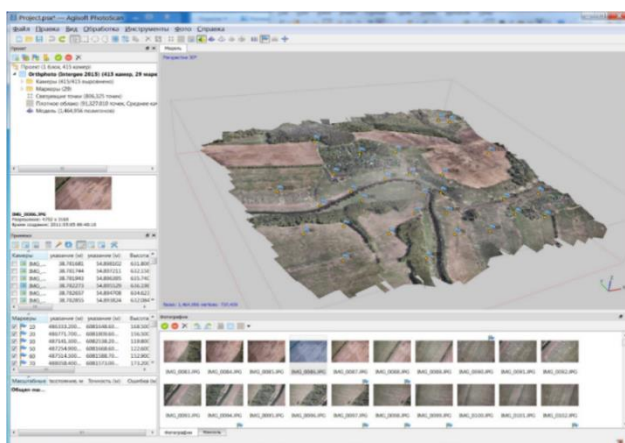


Рис. 2. Покрытая текстурами 3D-модель карты местности

Также при помощи Agisoft PhotoScan можно построить карту высот, цифровую модель местности, ортофотоплан (сшивка фотографий в единую карту), если того требует поставленная задача. Далее эти результаты можно экспортировать, например, на хранение в базу данных для статистики, что позволит наглядно следить за динамикой. Дополнив их различной информацией, такой как химический состав почвы и растений, наличие водных потоков и т. д., получим уже интерактивную карту.

Четвертый этап. Оценка состояния растений, которая заключается в расчете нормализованного вегетационного индекса NDVI как отношения разности к сумме интенсивности отраженного света в красной зоне спектра и в ближней инфракрасной [2]. В совокупности с моделями местности позволяет с высокой точностью оценить площадь угнетенной и погибшей

культуры. Это важно для прогноза урожайности. Спасение растений от гибели можно проводить с помощью БПЛА, точно внося удобрения и средства защиты растений, тем самым экономя их.

Пятый этап – принятие решений.

Именно так был проведен мониторинг одного сельхозугодья Минской области предприятием «Авиационные технологии и комплексы» в 2017–2018 гг [1]. Его специалисты построили ортофотоплан, который, совмещив с рассчитанным вегетационным индексом NDVI на каждом пикселе карты, позволил им достаточно точно оценить площадь угнетенной и погибшей растительности.

Использование технологии мониторинга с БПЛА позволяет увеличить урожайность на 7–25 %, уменьшить количество горюче-смазочных материалов на 20–30 %, удобрений на 40 % и снизить потери урожая на 70 %. В масштабах уже всей нашей страны прибыль от применения точного земледелия может измеряться в миллиардах BYN даже при учете всех расходов на внедрение технологии [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена актуальность применения данных с БПЛА для задач сельского хозяйства и понятие точного земледелия.

БПЛА могут оказать основную помощь для повышения урожайности полей.

На практике был изучен процесс создания моделей местности в демурусии ПО Agisoft PhotoScan и построена 3D-модель карты местности (полигональная с текстурированием) на основе снимков с БПЛА. Эти карты используются для достижения целей точного земледелия.

Библиографические ссылки

1. *Чижик С., Антошук С и др.* Интегрированная система точного земледелия с использованием беспилотных летательных аппаратов // Наука и инновации – №10 – 2020 – С. 63-67.
2. *Смирнов И.Г., Марченко Л.А., и др.* Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. №3. С. 10-16. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-10-16.
3. *Гольтяпин В.Я., Мишуков Н.П., и др.* Цифровые технологии для обследования состояния земель сельскохозяйственного назначения беспилотными летательными аппаратами: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 88 с.

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ ANDROID ПРИЛОЖЕНИЙ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В. И. Сеница

Белорусский государственный университет, г. Минск;

Vladsinitsa23@gmail.com

науч. рук. – Е. А. Чудовская, канд. физ.-мат. наук, доц.

В последнее время значительно возросло число успешных хакерских атак на пользовательские приложения. В результате таких атак похищаются не только огромные денежные средства, но и пользовательские данные. Это связано с тем, что современные приложения имеют массу уязвимостей разной степени риска: уязвимости высокого риска были обнаружены в 38 % мобильных приложений для iOS и в 43 % приложений для Android [1]. Большинство проблем с безопасностью встречается на обеих платформах. Небезопасное хранение данных – самая распространенная проблема, встречающаяся в 76 % мобильных приложений. Под угрозой находятся пароли, финансовая информация, личные данные и переписка. Большинство случаев вызвано слабостью механизмов безопасности (74 % и 57 % для приложений iOS и Android соответственно и 42 % для серверных компонентов). В данной работе будет описан ряд основных уязвимостей безопасности клиент-серверных приложений и предложены варианты их предотвращения.

Ключевые слова: уязвимости Android приложений, уязвимости сервера, JWT, авторизация, аутентификация, угрозы безопасности клиент-серверных приложений, SQL-инъекция, XSS.

ВВЕДЕНИЕ

Спрос на продукцию мобильных приложений растет с каждым годом. Во всем мире число загрузок в App Store и Google Play по итогам 2020 года превысило 130 миллиардов скачиваний. При этом сохраняется тенденция увеличения хакерских атак с целью хищения пользовательских данных: информация о банковских картах, пользовательской конфиденциальной информации и паролей [1].

И несмотря на это, многие разработчики уделяют пристальное внимание дизайну программного обеспечения для предоставления бесперебойной и удобной работы, при этом зачастую забывая о качественной реализации защиты. А пользователи с удовольствием устанавливают мобильные приложения и предоставляют личную информацию, но редко задумываются о последствиях для безопасности.

Поэтому на плечи разработчиков в первую очередь ложится ответственность за данные, которые предоставляет клиент, качественную их транзакцию и хранение. Рассмотрим, какие угрозы особенно опасны в последнее время и каким образом их можно избежать.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИНЪЕКЦИЙ

Недостатки реализации защиты от инъекций возникают из-за классической неспособности отфильтровать ненадежный ввод. Это может произойти, когда передаются нефильТРованные данные на SQL-сервер (SQL-инъекция) [1], в браузер (XSS) [1], на LDAP-сервер (LDAP-инъекция) или в другое место. Проблема состоит в том, что злоумышленник может вводить определенные команды, которые приводят к потере данных, захвату браузеров клиентов и ко множеству других проблем, связанных с нарушениями конфиденциальности, целостности и доступности данных.

Защита от инъекций – это вопрос правильной фильтрации входных данных и анализа того, можно ли доверять входным данным. Но нужно понимать, что организация качественной проверки и фильтрации данных приводит как к временным, так и функциональным затратам. А доверие к входным данным само по себе является достаточно опасным решением.

Межсайтовый скриптинг (XSS) – это довольно распространенное нарушение. Злоумышленник передает веб-приложению теги JavaScript при вводе. При загрузке страницы скрипт запускается и, например, может использоваться для отправки пользовательских файлов злоумышленнику.

Один из часто используемых для решения методов – использование регулярных выражений для поиска и удаления HTML-тегов или иных символов.

ОТСУТСТВИЕ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА НА СЕРВЕРЕ

Отсутствие контроля доступа на сервере – это проблема авторизации. В этом случае при вызове функции на сервере не производится надлежащая авторизация. Часто разработчики полагаются на тот факт, что пользовательский интерфейс генерируется на стороне сервера и функции, которые не предоставляются сервером, якобы не могут быть доступны для клиента. На самом деле это не так и злоумышленник всегда может подделывать запросы к функциям и методам, которые не предполагают их использование со стороны клиента. Поэтому на стороне сервера всегда должна выполняться качественная авторизация и производиться разделение доступа ко всем функциям приложения.

НЕКАЧЕСТВЕННАЯ АУТЕНТИФИКАЦИЯ

Построение качественной аутентификации является первоочередной задачей каждого разработчика при создании безопасного приложения. Существует множество проблем, которые могут возникнуть при слабой

или вовсе неработающей аутентификации, перечислять их можно до бесконечности. Существует ряд типичных ошибок у разработчиков:

- URL-адрес может содержать идентификатор сеанса и передать его кому-то другому в заголовке.
- Незашифрованные пароли как при хранении, так и при передаче.
- Идентификаторы сеанса могут быть предсказуемыми, поэтому получение доступа тривиально.
- Возможна фиксация сеанса, его захват, неправильное выполнение таймаутов и многое другое.

Решение перечисленных проблем. Разработки качественной аутентификации и авторизации с помощью технологии JWT

Решения перечисленных проблем во многом уже реализованы в популярных фреймворках. Взять к примеру защиту от инъекций: поскольку фильтрацию довольно сложно сделать правильно (например, с криптографией), лучшим решением будет как раз-таки полагаться на функции фильтрации фреймворков: они доказали свою эффективность и тщательно изучаются.

Современные же решения для аутентификации и авторизации внедрили концепцию токенов в свои протоколы. Токены – это специально созданные фрагменты данных, которые несут в себе достаточно информации, чтобы либо авторизовать пользователя для выполнения действия, либо позволить клиенту получить дополнительную информацию о процессе. Доступна ли эта информация для чтения или анализа клиенту определяется реализацией. Одним из наиболее распространенных типов токенов на данный момент является JWT [2].

JWT (JSON Web Token) определяет способ, в котором может быть представлена некоторая общая информация, относящаяся к процессу аутентификации или авторизации. JWT становятся действительно полезными в сочетании с другими спецификациями, такими как JSON Web Signature (JWS) и JSON Web Encryption (JWE). Вместе эти спецификации предоставляют не только всю информацию, обычно необходимую для токена авторизации, но также средства для проверки содержимого токена, чтобы его нельзя было подделать (JWS), и способ шифрования информации, чтобы она оставалась непрозрачной клиенту.

ТИПЫ ТОКЕНОВ

Существует два типа токенов: Access token (токен доступа) и Refresh token (токен обновления). Зачастую в приложениях используют только

токены доступа, из-за более простой реализации и использования. Но хорошим тоном считается реализовывать оба.

Токены доступа несут в себе необходимую информацию для прямого доступа к ресурсу. Другими словами, когда клиент передает такой токен серверу, управляющему ресурсом, этот сервер может прочитать информацию, содержащуюся в токене, и сам решить, авторизован пользователь или нет (никаких проверок на сервере авторизации не требуется). Это одна из причин, по которой токены должны быть подписаны (например, с использованием JWS). Токены доступа обычно имеют короткий срок действия [3].

Токены обновления несут информацию, необходимую для получения нового токена доступа. Другими словами, всякий раз, когда требуется Access token для доступа к определенному ресурсу, клиент может использовать токен обновления для его получения, который выдается сервером аутентификации. Общие варианты использования включают получение новых токенов доступа после истечения срока действия старых или получение доступа к новому ресурсу в первый раз. Токены обновления также могут истекать, но они довольно долговечны. К Refresh token обычно предъявляются строгие требования к хранению, чтобы гарантировать отсутствие утечки [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хотелось бы отметить важность построения мощной и качественной безопасности в приложениях. В этом во многом помогают технологии, реализованные в фреймворках. Особое внимание стоит уделять аутентификации и авторизации. Современным и лучшим решением для этого является использование сразу нескольких токенов: доступа и обновления. Такой способ повышает безопасность и позволяет сократить время ожидания от сервера.

Библиографические ссылки

1. Уязвимости и угрозы в мобильных приложениях [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ptsecurity.com/ww-en/analytics/mobile-application-security-threats-and-vulnerabilities-2019> (дата обращения: 10.05.2021).
2. Введение в веб-токены JSON_[Электронный ресурс]. URL: <https://jwt.io/introduction> (дата обращения: 10.05.2021).
3. Типы токенов и их использование [Электронный ресурс]. URL: <https://auth0.com/blog/refresh-tokens-what-are-they-and-when-to-use-them> (дата обращения: 10.05.2021).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ СЕКВЕНИРОВАНИЯ ОДИНОЧНЫХ КЛЕТОК

В. Ю. Шамкина

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
vikashamkina00@gmail.com;
науч. рук. – Н. Н. Яцков, канд. физ.-мат. наук, доц.*

Работа посвящена разработке программных средств для выявления и коррекции технических искажений батч-эффекта и размера библиотеки в экспериментальных данных геномного секвенирования одиночных клеток с использованием метода независимых компонент. Выполнен анализ смоделированных и экспериментальных данных, представляющих собой результаты исследования раковых клеток. Разработан специализированный программный R пакет `RNASeqDataNormalization` для нормализации данных геномного секвенирования одиночных клеток.

Ключевые слова: секвенирование одиночных клеток; метод независимых компонент; батч-эффект; размер библиотеки; R пакет `RNASeqDataNormalization`.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные методы секвенирования RNA-Seq (от англ. *RNA sequencing*) нацелены на обработку молекул РНК набора клеток, что позволяет оценить лишь средние значения экспрессии генов [1]. Новые методы секвенирования одиночных клеток (SC от англ. *single cell*) позволяют исследовать экспрессии генов в отдельных клетках, что существенно повышает результативности проводимых исследований [2].

Часто исследования проводятся при различных условиях, в нескольких лабораториях, при влиянии внешних факторов, в том числе с развитием во времени. Это приводит к появлению нежелательных экспериментальных эффектов, требующих последующего устранения в ходе анализа данных с использованием процедур нормирования данных [3]. Наиболее трудно устранимыми источниками экспериментальных искажений являются батч-эффект и размер библиотеки.

Батч-эффекты обусловлены вариацией биологического или экспериментального различия при подготовке исследуемых образцов, что усложняет интерпретацию результатов [4].

Под размером библиотеки понимают число прочтений фрагментов нуклеотидных последовательностей молекул ДНК или РНК в экспериментах геномного секвенирования. Число прочтений может варьироваться в зависимости от условий проведения экспериментов, влияя на оценку геной экспрессии [5].

Наиболее перспективным способом выявления различных экспериментальных эффектов или искажающих информативность данных факторов в многомерных данных является метод независимых компонент, успешно используемый в ряде работ при решении задач анализа больших данных [4].

Цель работы – разработать программные средства для выявления технических факторов батч-эффекта и размера библиотеки и последующего нормирования RNA-seq данных одиночных клеток с использованием метода независимых компонент (ICA от англ. independent component analysis).

МЕТОД НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ

Метод независимых компонент – это метод матричного разложения X_{nm} , в котором отдельные компоненты разложения S_{nk} подбираются как можно более статистически независимыми друг от друга. Они объясняют источники вариации в данных.

В ходе обработки RNA-seq данных компоненты (колонки) матрицы S_{nk} отражают как биологические процессы, происходящие в клетках и влияющие на экспрессию генов, так и технические факторы, в том числе батч-эффектов и влияния размера библиотеки [6].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Экспериментальные данные представлены матрицей, в ячейках которой расположены значения экспрессии генов. Исследуемые образцы формируют строки матрицы. Столбцы матрицы – признаки, представленные типом клеток (cells), числом прочтений (libsize), типом корректируемого фактора (batch) и названием гена. Всего 3304 образца и 7496 генов. Исследуется 4 типа раковых клеток, обозначенные «А», «В», «В1» и «В2», и представленные количеством образцов 441, 1446, 755, 662 соответственно.

Клетки типов «А», «В1» и «В2» измерены в одной серии экспериментальных условий, клетки «В» – в отдельной. Клетки типов «В1» и «В2» являются подтипами клеток рака типа «В». Требуется обнаружить и устранить батч-эффект и влияние размера библиотеки в данных.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В работе используется программная реализация метода ICA R пакета FastICA. Для визуализации многомерных данных о геной экспрессии в сниженном пространстве наиболее информативных признаков используется метод tSNE (от англ. t-distributed analysis) R пакета tsne.

При применении ИСА компонента батч-эффекта определяется как максимальная разность средних значений соответствующих компонент матрицы S для образцов каждого батча. Компонента размера библиотеки определяется как максимальная величина коэффициента корреляции между векторами колонок матрицы S и вектором-колоной ($libsiz$) числа прочтений матрицы X .

Для корректировки батч-эффекта используется процедура нормирования элементов компоненты батч-эффекта на их среднее значение.

Для корректировки размера библиотеки (разброса данных) сравнивались несколько методов, таких как исключения компоненты, в которую выделен размер библиотеки, поэлементной нормализации компоненты к вектору числа ридов, а также центрирования или шкалирования компоненты.

Для оценки эффективности методов нормирования батч-эффекта применен статистический критерий проверки равенства значений средней экспрессии генов по парам типов клеток, в котором нулевая гипотеза – средние значения экспрессии генов клеток равны, для размера библиотеки – среднее внутрикластерное расстояние для каждого вида клеток.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определены компоненты батч-эффекта, №13 (значение 1,47), и размера библиотеки, №7 (значение 0,67). Эффективность нормировки батч-эффекта подтверждается значением p -величины статистического критерия: до корректировки $p = 2,2 \cdot 10^{-16}$ (менее выбранного нами порогового значения 0,05), после – $p = 0,86$ ($>0,05$). До корректировки фактора размера библиотеки среднее внутрикластерное расстояние $d = 14840$, после – $d = 14214$, что подтверждает уменьшение разброса в данных. Пример удаления технических факторов в наборах данных представлен на рис. 1.

Разработан R пакет R RNASeqDataNormalization. Включает функции `forvisualData` и `normalize`. Функция `forvisualData` используется для визуализации многомерных данных на диаграмме двух информативных координат, вычисленных методом снижения размерности данных tSNE или PCA (от англ. principal component analysis). Функция `normalize` предназначена для выявления и корректировки технических факторов. Пакет доступен в репозитории GitHub <https://github.com/ViktoriaShamkina/RNASeqDataNormalization>.

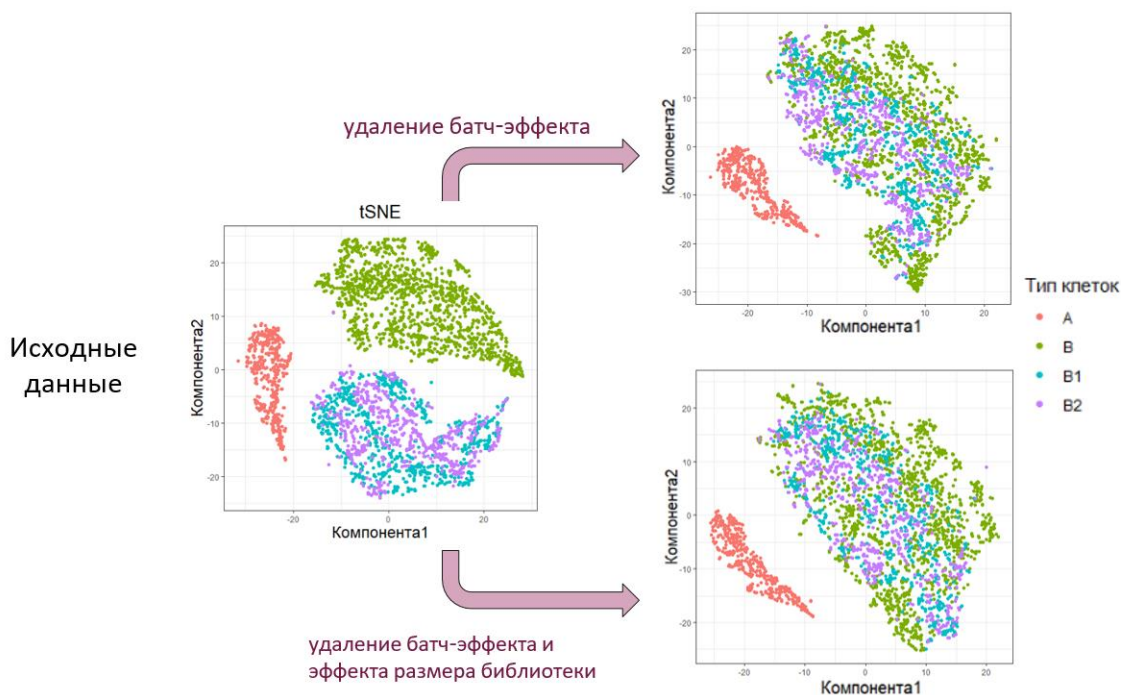


Рис. 1. Диаграммы двух наиболее информативных координат, вычисленных методом снижения размерности данных tSNE. Пример исходных (диаграмма слева) и нормированных (диаграммы справа) наборов экспериментальных данных

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны программные средства для выделения и нормирования технических факторов батч-эффекта и размера библиотеки. Реализованные алгоритмы интегрированы в R пакет *RNASeqDataNormalization*.

Библиографические ссылки

1. Schatz M.C., Delcher A.L., Salzberg S. Assembly of large genomes using second-generation sequencing // *Genome Research*. 2010. Т. 20, № 9. С. 1165-1173. DOI: 10.1101/gr.101360.109.
2. Wang T., Nabavi S. A powerful method for differential gene expression analysis in single-cell RNA sequencing data // *SigEMD*. 2018. Т.1, № 145. С. 25-32. DOI: 10.1016/j.ymeth.2018.04.017.
3. Мхитарян В. С. [и др.] Статистика. В 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. В. С. Мхитаряна. – 2-е изд. Москва: Издательство Юрайт, 2018.
4. Hyvärinen A., Karhunen J., Oja E. Independent component analysis. New York, NY: Wiley. 2001. DOI:10.1002/0471221317.
5. Lun A., Marioni J. Overcoming confounding plate effects in differential expression analyses of single-cell RNA-seq data / A.T. Lun, J.C. Marioni. // *Biostatistics*. 2017. Т. 18, № 3. С. 451-464. DOI:10.1093/biostatistics/kxw055.
6. Tharwat A. Principal component analysis-a tutorial, *Int. J. Appl. Pattern Recognit.* 3, 2016. Т. 3, № 3. С. 197–240. DOI:10.1504/IJAPR.2016.079733.

ПРЕДСКАЗАНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ ПАЦИЕНТОВ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО ЛЕСА

В. Н. Яцков, М. К. Чепелева

*Белорусский государственный университет, г. Минск
vlad18742@gmail.com, maryna.chepeleva@gmail.com
науч. рук. - П. В. Назаров, канд. физ.-мат. наук, доц.*

Разработаны программные средства для предсказания выживаемости пациентов с онкологическими заболеваниями на основе метода случайного леса с расщеплением узлов по методу exponential log-likelihood loss и определения значимых признаков. Получена точность 91,4 % для глиобластомы. Разработанный алгоритм может быть использован для предсказания клинических рисков в персонализированной медицине.

Ключевые слова: случайный лес выживаемости; секвенирование; предсказание выживаемости; отбор признаков.

ВВЕДЕНИЕ

Предсказание рисков для пациентов является одной из важных задач биомедицины. Особенно актуальной такая задача становится с распространением подхода персонализированной медицины (personalized medicine), который предполагает индивидуальное рассмотрение многомерных данных о конкретном пациенте и включает предсказание выживаемости [1]. Предсказание выживаемости подразумевает оценку времени наступления критического события, основанную на функции вероятности наступления события. Точное прогнозирование клинического риска необходимо для принятия решений об оптимальных планах лечения. В разработке лекарств важную роль играет определение мишеней для терапии – компонент в клетках, изменив которые, можно повлиять на течение болезни. Одним из инструментов для определения таких мишеней может служить оценка значимости признаков прогнозной модели высокой точности. Метод случайного леса отличается относительно простой установкой связи между ковариатами и риском, а также показывает высокую точность прогнозирования [2]. Цель данной работы – разработка программных средств для предсказания выживаемости пациентов, больных раком, на основе метода случайного леса выживаемости (random survival forest) и определения значимых признаков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для тестирования алгоритмов были использованы данные секвенирования РНК (RNA-seq) глиобластомы человека из баз данных TCGA (portal.gdc.cancer.gov/) и IVY GAP (<https://glioblastoma.alleninstitute.org/>). Объединенные данные содержали 508 образцов, для 452 наступило критическое событие в определенный момент времени, 56 – цензурированы. Помимо экспрессии генов имелся набор клинических признаков: пол, возраст, подтип рака, набор данных (dataset), метилирование промотора гена MGMT, амплификация гена эпидермального фактора роста EGFR.

Случайный лес выживаемости. Расширение метода случайного леса Брэймана для цензурированных справа данных событийно-времязависимой (time-to-event) информации строится на основе рекурсивного разделения ковариантного пространства для формирования групп субъектов, похожих по time-to-event результату [3].

В данной работе алгоритм случайного леса выживаемости был реализован на основе R-пакета *rpart* с программированием собственного алгоритма расщепления узлов.

Алгоритм расщепления узла. Основываясь на сравнительном обзоре алгоритмов расщепления узлов для случайных деревьев выживаемости [2], для расщепления узлов дерева выбран и реализован алгоритм exponential log-likelihood loss (EL).

Пусть на основе объектов L строится дерево с конечным количеством узлов H . Тогда на узле $h \in H$ находятся объекты $L_h \in L$. При этом каждый объект $l_i \in L_h$ характеризуется параметрами δ_i (результат наступления события) и t_i (время наступления события).

Тогда оцениваемый риск в узле h определяется как

$$\hat{\lambda}_h = \frac{\sum_{l_i \in L_h} \delta_i}{\sum_{l_i \in L_h} t_i}.$$

Само значение EL в узле h определяется как

$$R(h) = \sum_{l_i \in L_h} \delta_i - \sum_{l_i \in L_h} \delta_i \ln(\hat{\lambda}_h). \quad (1)$$

Каждому расщеплению ставится в соответствие «добротность» – величина, обратно пропорциональная сумме значений (1) дочерних узлов. Расщепление, которое максимизирует «добротность», считается наилучшим.

Качество предсказания. Для оценки ошибки предсказания выживаемости вычислялся C -индекс (concordance index), который оценивает вероятность того, что в i -ой паре объектов выполняется условие $S_{i1}(t_{i1}) < S_{i2}(t_{i2})$

при $t_{i1} < t_{i2}$ [3], где $S(t)$ – вероятность выживания объекта на момент времени t . В результате полностью достоверного предсказания значение ошибки по C -индексу равно 0, в результате полностью недостоверного – 1.

Оценка значимости признаков. Для определения значимости признаков деревьев, размещенных в объектах *rpart*, требуется задать количество суррогатных разбиений, такие разбиения используются только для оценки значимости признаков. При этом «добротности» суррогатных разбиений должны быть меньше «добротности» основного разбиения. Для каждого суррогатного разбиения вычисляется adjusted agreement – коэффициент совпадения назначений объектов родительским узлам по данному разбиению по отношению к назначениям объектов родительским узлам по основному разбиению. Adjusted agreement изменяется от 0 до 1, где 1 – полное совпадение результатов данного суррогатного разбиения с лучшим.

Значимость признака в дереве определена как сумма всех «добротностей» основных разбиений и значимостей суррогатных разбиений, где использовался данный признак. При этом значимость суррогатного разбиения вычисляется как «добротность» лучшего разбиения на данном узле, умноженная на adjusted agreement. Для получения значимостей признаков леса, результаты по деревьям усредняются.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для предсказания выживаемости пациентов использовались реализованный алгоритм случайного леса выживаемости на основе R-пакета *rpart*, случайный лес выживаемости из пакета *randomForestSRC*, алгоритм регрессии Кокса из пакета *survival*. Сравнение точности предсказаний представлены в таблице 1, где N – количество деревьев.

Таблица 1

Общие результаты работы алгоритмов

Алгоритм	Ошибка предсказания по C -индексу, %
Лес на основе <i>rpart</i> , $N = 10$	9,70
Лес на основе <i>rpart</i> , $N = 50$	8,63
Лес на основе <i>rpart</i> , $N = 100$	8,87
Лес из <i>randomforestSRC</i> , $N = 10$	12,42
Лес из <i>randomforestSRC</i> , $N = 50$	10,99
Лес из <i>randomforestSRC</i> , $N = 100$	10,95
Модель Кокса	33,25

Реализованный алгоритм на основе *rpart* показывает точность в среднем на 2,4 % лучше, чем соответствующий случайный лес выживаемости из пакета *randomforestSRC*.

В таблице 2 представлены 12 наиболее значимых признаков.

Полученные значимости признаков

Название признака	Значимость, 10^{-2}	Название признака	Значимость, 10^{-2}
Подтип рака	0,816	LARP4	0,114
Амплификация EGFR	0,414	NDUFA11	0,113
Возраст	0,325	ATP6V1F	0,113
Пол	0,245	TRPV1	0,111
Набор данных	0,241	FNDC3B	0,110
Метилирование MGMT	0,134	CCDC142	0,109

Наибольшую значимость имеют категориальные признаки, что коррелирует с исследованиями в данной области. От молекулярного подтипа (subtype) зависит траектория развития опухоли и применяемая терапия. EGFR запускает механизмы, приводящие к делению клеток. При отсутствии метилирования промотора MGMT длительная выживаемость очень редка [4]. Отсутствие видимой корреляции функциональных продуктов значимых генов с развитием опухоли свидетельствует о необходимости анализа совокупности значимых генов с целью выявления измененных биологических функций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны программные средства для предсказания выживаемости пациентов методом случайного леса с расщеплением узлов на основе EL. При сравнении с методом *randomForestSRC* и регрессией Кокса достигнута наибольшая точность (91,4 % при 50 деревьях). Определены наиболее значимые признаки, среди которых подтип рака, амплификация EGFR, метилирование MGMT. Разработанный алгоритм может быть встроен в анализ многомерных данных пациентов с онкологическими заболеваниями для предсказания клинических рисков в персонализированной медицине.

Библиографические ссылки

1. Ma J., Hobbs B.P., Stingo F. C. Statistical Methods for Establishing Personalized Treatment Rules in Oncology // Biomed Res Int. 2015. Vol. 2015, №670691. DOI:10.1155/2015/670691.
2. Shimokawa A., Kawasaki Y., Miyaoka E. Comparison of Splitting Methods on Survival Tree // Int. J. Biostat. 2015. Vol. 1, № 11. P. 175–188. DOI: 10.1515/ijb-2014-0029.
3. Ishwaran H., Kogalur U. B., Blackstone E. H., Lauer M. S. Random survival forests // Ann. Appl. Stat. 2008. Vol. 2, № 12. P. 841–860. DOI: 10.1214/08-AOAS169.
4. Smrdel U., Popovic M., Zwitter M., et al. Long-term survival in glioblastoma: methyl guanine methyl transferase promoter methylation as independent favourable prognostic factor // Radiol Oncol. 2016. Vol. 50, №4. P. 394–401. DOI:10.1515/raon-2015-0041.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ВЛИЯНИЕ КЛЕТОЧНЫХ СТЕРЕОТИПИЙ И ГРУМИНГА НА ПОВЕДЕНИЕ МЫШЕЙ В СТАНДАРТНЫХ ТЕСТАХ

К. П. Авимова

Белорусский государственный университет;

bio.avimova@bsu.by;

науч. рук. Сандаков Д. Б., канд. биол. наук, доц.

Стереотипное поведение и аномальный груминг могут развиваться при неоптимальных условиях содержания лабораторных животных и искажать результаты физиологических и поведенческих экспериментов. Целью нашей работы было изучить формирование у лабораторных мышей стереотипий и груминга и их влияние на поведение в стандартных поведенческих тестах. Для этого дважды с разницей в 3 месяца регистрировалось ночное поведение мышей и проводились тесты «Открытое поле», «Норный тест» и «Подвешивание за хвост». Стереотипная активность и груминг отмечались у мышей с самого начала эксперимента, но оказались не устойчивыми у большинства животных: медианная доля стереотипий снизилась с 8,2% до 1,0%, а медианная доля груминга выросла с 29,5% до 49,6%. Продолжительность груминга имела положительную корреляцию со временем неподвижности в «Подвешивании за хвост», а стереотипная активность – обратную корреляцию со временем груминга в «Открытом поле». Животные, содержащиеся в одних и тех же условиях, но имевшие разную выраженность стереотипий и груминга, различались по активности в поведенческих тестах.

Ключевые слова: лабораторные животные; поведенческие тесты; открытое поле; норный тест; подвешивание за хвост; спонтанное стереотипное поведение; спонтанный груминг

У лабораторных животных нередко развивается аномальное повторяющееся поведение (стереотипии, патологический груминг), которое может сказываться на физиологическом состоянии, а также искажать результаты поведенческих экспериментов [1]. Стереотипное поведение и аномальный груминг развиваются, как правило, в неоптимальных условиях содержания животных и усиливаются со временем [2].

Целью нашей работы было изучить формирование спонтанного стереотипного поведения и груминга и их влияние на результаты стандартных поведенческих тестов.

Для этого мы дважды регистрировали ночное поведение мышей и затем сопоставляли его с поведением в тестах «Открытое поле», «Норный тест» и «Подвешивание за хвост».

20 самцов беспородных белых мышей (4 из них по разным причинам выбыли из эксперимента) в возрасте 3 мес. рассадил попарно в клетки (ДхШхВ 30х20х14 см). Субстрат – опилки (смена раз в неделю, но не

позднее чем за 5 дней до тестов), смена воды – раз в три дня, кормление – *ad libitum*.

В ходе эксперимента дважды записывали ночное поведение мышей на видеокамеру, а позже анализировали методом one-zero sampling [[3, гл. 5]]. Первую запись делали спустя неделю после рассаживания по клеткам, ещё через неделю провели поведенческие тесты (по одному в день). Повторную регистрацию ночной активности и тесты провели спустя три месяца.

В ночном поведении мы выделяли общую активность, стереотипную активность, а также груминг (который может быть и аномальным, развивающимся при хроническом стрессе и депрессии у животных) [4]. Рассчитывали стереотипную активность и груминг как долю от общей активности, которая включает в себя и нестереотипную.

У большинства животных большую часть времени занимала нестереотипная активность, на втором месте – груминг (рис. 1). Некоторые виды стереотипий проявлялись крайне мало, не все животные в принципе проявляли стереотипную активность.

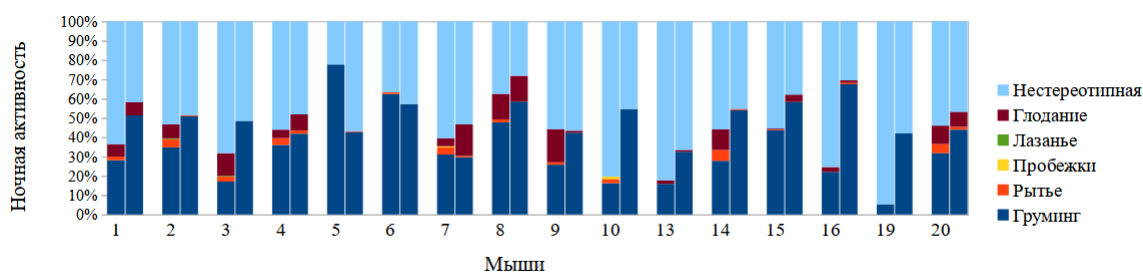


Рис1. Структура ночной активности мышей.

Сдвоенные столбцы показывают, как вели себя мыши в первой регистрации (левый столбец) и во второй регистрации (правый столбец).

За 3 месяца медианная доля общей активности уменьшилась с 50,8% до 48% (парный тест Вилкоксона, $p > 0,05$), уровень груминга увеличился с 29,5% до 49,6% (парный тест Вилкоксона, $p < 0,05$), уровень стереотипий снизился с 8,2% до 1,0% (парный тест Вилкоксона, $p > 0,05$).

Груминг и стереотипная активность не были устойчивыми у всех животных. Взяв за основу медианное значение соответствующей активности в первой регистрации, мы выделили три группы по уровню и устойчивости стереотипий и три группы по уровню и устойчивости груминга (рис. 2).

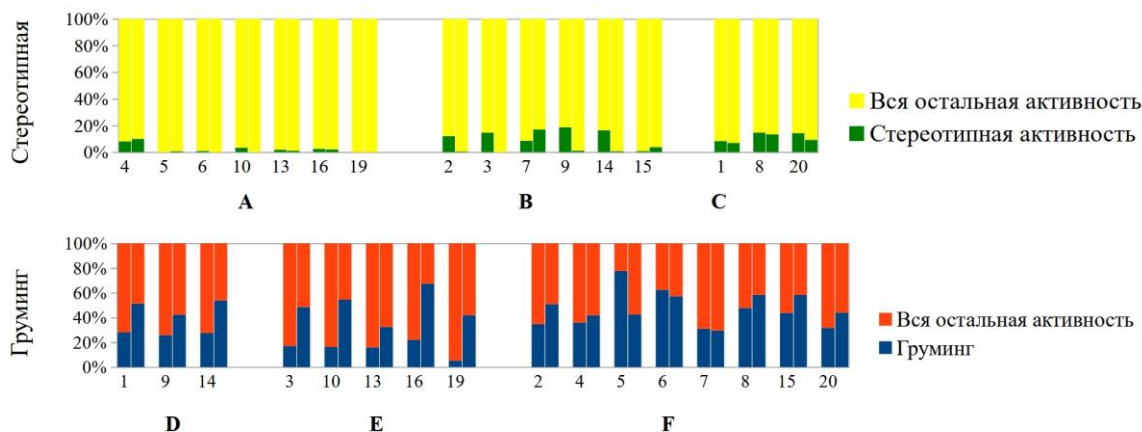


Рис. 2. Группировка мышей по уровням стереотипий и груминга.

Группы по стереотипиям: А – низкостереотипные мыши (исходно $\leq 8,2\%$, увеличение не более чем наполовину от исходного уровня); В – мыши с неустойчивым стереотипным поведением (уровень изменился более чем наполовину от исходного в любую сторону); С – высокостереотипные мыши (исходно $> 8,2\%$, уменьшение не более чем наполовину от исходного уровня). Группы по грумингу: D – малый уровень груминга (исходно $\leq 29,5\%$, увеличение не более чем наполовину от исходного уровня); E – мыши с неустойчивым грумингом (уровень изменился более чем наполовину от исходного в любую сторону); F – высокий уровень груминга (исходно $> 29,5\%$, уменьшение не более чем наполовину от исходного уровня).

Обнаружена корреляция между ночным грумингом и латентным временем начала движения в «Открытом поле» ($r_s = -0,53$, $p < 0,05$), а также между ночным грумингом в 1-й регистрации и временем неподвижности в «Подвешивании за хвост» ($r_s = 0,78$, $p < 0,01$).

Обнаружены достоверные различия (критерий Краскела-Уоллиса со множественными сравнениями, $p < 0,05$) между группами по некоторым метрикам стандартных тестов (рис. 3). Так, группа В больше группы А занималась грумингом в «Открытом поле», а группа D – больше групп E и F. В «Подвешивании за хвост» мыши группы E подвижнее мышей групп D и F (об этом говорит меньшее количество эпизодов неподвижности и время неподвижности).

Таким образом, стереотипная активность и груминг отмечались у мышей с самого начала эксперимента, но оказались не устойчивыми у большинства животных: доля стереотипий снизилась с $8,2\%$ до $1,0\%$, а доля груминга выросла с $29,5\%$ до $49,6\%$.

Продолжительность груминга имела положительную корреляцию со временем неподвижности в «Подвешивании за хвост», а стереотипная активность – обратную корреляцию со временем груминга в «Открытом поле».

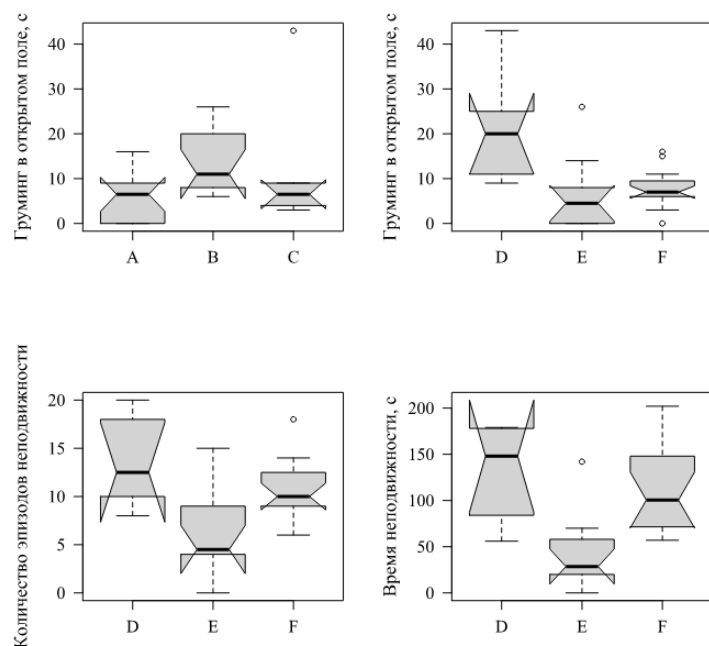


Рис. 3. Различия между группами мышей в тестах «Открытое поле» (сверху) и «Подвешивание за хвост» (снизу).

Животные, содержащиеся в одних и тех же условиях, но имевшие разную выраженность стереотипий и груминга, различались по активности в поведенческих тестах.

Библиографические ссылки

1. Garner, J.P. Stereotypies and Other Abnormal Repetitive Behaviors: Potential Impact on Validity, Reliability, and Replicability of Scientific Outcomes / J.P. Garner // *ILAR J.* – 2005. – Vol. 46, № 2. – P. 106-117.
2. Mason, G.J. Stereotypies: a critical review / G.J. Mason // *Anim. Behav.* – 1991. – Vol. 41, № 6. – P. 1015-1037.
3. Martin, P. *Measuring Behaviour. An Introductory Guide* / P. Martin, P. Bateson. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 186 p.
4. Analysis of Grooming Behavior and Its Utility in Studying Animal Stress, Anxiety, and Depression / A.N. Smolinsky [et al.] // *Mood and Anxiety Related Phenotypes in Mice. Neuromethods*, vol 42 / ed. T.D. Gould. – Humana Press, Totowa, NJ, 2009. – P. 21-36.

ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ИЗОЛЯТОВ НЕКОТОРЫХ МАКРОМИЦЕТОВ

П.С. Амелишко

Белорусский государственный университет, г. Минск;
AMELISHKOPolina@yandex.by
науч. рук. – О. А. Шевелева, ст. преп.

А.В. Муковозчик

Белорусский государственный университет, г. Минск;
Anton_MAV@outlook.com
науч. рук. – О. А. Шевелева, ст. преп.

Многие исследования показывают, что изоляты ксилотрофных макромицетов обладают антимикробной активностью. В условиях лаборатории экспериментальной микологии кафедры ботаники биологического факультета были выделены штаммы местных макромицетов *Daedalea quercina*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolor*, *Trametes hirsuta* и исследованы их: антифунгальная активность в отношении таких фитопатогенных микромицетов как *Alternaria brassicae*, *A. petroselini*, *A. radicina*, *A. solani*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium culmorum*, *F. oxysporum* и антибактериальная активность в отношении таких бактерий как *Bacillus polymyxa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium radiobacter*, *Sarcina lutea*, *Serratia marcescens*. Отобраны штаммы с высокой биологической активностью и широким спектром действия по отношению к фитопатогенным грибам и бактериям.

Ключевые слова: ксилотрофные макромицеты; антибактериальная активность; антифунгальная активность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования были использованы местные штаммы ксилотрофных базидиальных грибов, относящиеся к группе белой гнили выделенные из плодовых тел произраставших на лиственных деревьях: **И-7** – *Daedalea quercina* (L.) Pers., **И-13** – *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst., **В.Т.** – *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., **Б-14** – *Trametes versicolor* (L.) Lloyd., **И-12** – *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd [1].

Плодовые тела базидиомицетов были собраны в Барановичском районе, Брестской области в 2020 году в период практики по специализации. Таксономическую принадлежность плодовых тел устанавливали, используя определители. [2]

Для получения изолятов свежие собранные плодовые тела промывали, далее в стерильных условиях надламывали плодовое тело в области трамы и с помощью стерильного пинцета фрагменты мицелия переносили

на питательную среду КГА содержащую антибиотик ампициллин. Чашки инкубировали в термостате при 25°C. При появлении мицелия на инокулюме (2-3 дня) производили пересев на питательную среду без антибиотика. Развитие мицелия оценивали по показателям скорости роста, плотности и качества. Измерения *радиальной скорости роста* мицелия тест-изолятов проводили на агаризованной среде (КГА). Для этого высевали кусочки мицелия одинакового размера в центр чашек Петри, измеряли радиус каждые 24 часа. Далее вычисляли по данной формуле: $K_r = \frac{r-r_0}{t}$, где K_r - радиальная скорость роста колонии в мм/ч; r – радиус колонии в данный момент времени в мм.; r_0 – радиус колонии в начальный момент времени в мм.; t - время от момента посева до того момента, когда радиус колонии достигнет r , час [1].

Исследования антимикробной активности грибных изолятов производилось методом агаровых блоков [3] и модифицированным методом лунок [4]. В лунки вносились: культуральная жидкость после 14 дней культивирования в жидкой картофельно-глюкозной среде; холодный экстракт; горячий экстракт.

Глубинное культивирование макромицетов производилось в картофельно-глюкозной среде в течении 14 суток при температуре 25-28°C 160 оборотов в минуту [5].

Холодный экстракт получали из мицелия, который культивировался глубинным методом. Соотношение пеллет и воды 1:10, температура 3-6 С, настаивались в течении 48 часов [4].

Горячий экстракт также получали из мицелия, культивируемого глубинным методом. Соотношение пеллет и воды 1:10, температура 60 °С, настаивались в течении 6 часов [4].

Исследования антибактериальной активности проводилось следующим образом: на КГА втирали шпателем по 100 мкл. ночных (16 ч. культивирования) суспензий бактерий (грамположительные: *Bacilluspolymyxa*, *Sarcinalutea*; грамотрицательные: *Pseudomonasfluorescens*, *Rhizobiumradiobacter*, *Serratiamarcesc*), далее на поверхность вносились агаровые блоки с мицелием, тестировались обе стороны блока, в лунки вносились культуральная жидкость и экстракты, выделенные холодным и горячим экстрагированием. После чашки Петри выдерживались в холодильнике при температуре 3-6 °С в течении 12 часов, далее в течение 48 часов при температуре 25-27 °С [6]. Учёт результатов производился на третьи сутки.

Исследование антифунгальной активности проводилось методом встречного роста. На КГА с одной стороны чашки Петри засеивались исследуемые штаммы макромицетов, спустя 5 суток подсеивались фитопатогены (*Alternariabrassicae*, *A. petroselini*, *A. radicina*, *A.*

solani, Botrytis cinerea, Fusarium culmorum, F. oxysporum). Инкубирование производилось при температуре 25-27 °С [1]. Учёт взаимодействия и изменения окраски результатов производился в течении недели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении радиальной скорости роста макромицетов на картофельно-глюкозной среде были получены следующие результаты: И-7 – *Daedalea quercina* = 0,016 мм/ч, И-13 – *Pycnoporus cinnabarinus* = 0,09 мм/ч, В.Т. – *Pleurotus ostreatus* = 0,12 мм/ч, Б-14 – *Trametes versicolor* = 0,10 мм/ч, И-12 – *Trametes hirsuta* = 0,074 мм/ч.

Самым быстрорастущим из штаммов оказался В.Т. – *Pleurotus ostreatus*, далее Б-14 – *Trametes versicolor*, И-13 – *Pycnoporus cinnabarinus*, И-12 – *Trametes hirsuta*, инаконец, самым медленно растущим оказался И-7 – *Daedalea quercina*. Предположение: для культивирования *Daedalea quercina* необходимо подобрать другую питательную среду.

Результаты, полученные при изучении антибактериальной активности представлены в таблице.

Таблица

Антибактериальная активность штаммов макромицетов методом агаровых блоков

Тест-культуры	<i>B. polymyxa</i>	<i>P. fluorescens</i>	<i>R. radiobacter</i>	<i>S. lutea</i>	<i>S. marcescens</i>
Изоляты					
Б-14	+	+	+	+	+
В. Т.	-	-	-	+	-
И-7	-	-	-	-	-
И-12	+	+	+	-	-
И-13	+	+	+	+	+

Несомненными лидерами проявили себя штаммы Б-14 – *Trametes versicolor* и И-13 – *Pycnoporus cinnabarinus*. Совершенно никакой антибактериальной активности не проявил штамм И-7 – *Daedalea quercina*.

Антибактериальной активности штаммов макромицетов, выделенных методом холодного и горячего экстрагирования, а также культуральной жидкости, не было зафиксировано.

При изучении антифунгальной активности были получены результаты:

И-7 – *Daedalea quercina* – в основном проявлял фунгостатическую активность.

И-13 – *Ruynporuscinnabarinus* проявил фунгостатическую активность, в большинстве случаев И-13 останавливал рост фитопатогена на середине чашки Петри, также на границе двух грибов И-13 образовывал наросты.

В.Т. – *Pleurotusostreatus* – проявлял как фунгостатическую, так и миколитическую активность.

Б-14 – *Trametesversicolor* обладает антифунгальной активностью, т.е. полностью подавил рост фитопатогена и в отношении некоторых фитопатогенов (*A. solanii* и *A. petroselini*) колонизировал их.

И-12 – *Trameteshirsuta* – проявлял в основном антифунгальную активность.

Абсолютным лидером по антимикробным тестам себя показал штамм Б-14 – *Trametesversicolor*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов для коллекции базидиальных макромицетов кафедры ботаники были выявлены 3 перспективных штамма Б-14 – *Trametesversicolor*, И-12 – *Trameteshirsuta*, И-13 – *Ruynporuscinnabarinus*, которые могут использоваться для дальнейших исследований потенциала биологической активности и применения их в медицине, биоремедиации, пищевой промышленности.

Библиографические ссылки

1. Поликсенова В. Д., Храмцов А. К., Пискун С. Г. Методические указания к занятиям спецпрактикума по разделу «Микология. Методы экспериментального изучения микроскопических грибов». Мн.: БГУ, 2004. 36 с.
2. Шуканов А. С. [и др.] Альгология и микология: учеб. пособие. Минск: БГУ, 2009. 423 с.
3. Лысак В. В., Желдакова Р. А., Фомина О. В. Микробиология. Практикум: пособие. Минск: БГУ, 2015. 115 с.
4. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. Москва: Наука, 2004. 528 с.
5. Бисько Н. А. [и др.] Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Т. 2. Киев, 2012. 459 с.
6. Дудка И. А. [и др.] Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕЧКИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ИЗ КЛЕТОК КОРНЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ ПРИ АЛЮМИНИЕВОМ СТРЕССЕ

Вайтулевич А. В.

Белорусский государственный университет, Минск;

hryvusevich@bsu.by;

науч. рук. – П. В. Гриусевич

Алюминий занимает особое место среди тяжелых металлов загрязнителей, так как он представляет собой основной лимитирующий фактор роста и развития растений в кислых почвах. В настоящее время слабо изучены механизмы влияния Al^{3+} на системы пассивного транспорта в корневой системе растений. В работе было протестировано протекторное влияние бора на Al^{3+} -индуцированную утечку электролитов из клеток корня *Pisum sativum* L. С использованием кондуктометрического анализа было показано, что при воздействии Al^{3+} происходит массивная утечка электролитов из клеток корня *Pisum sativum* L. Установлено, что при добавлении бора в среду, содержащую Al^{3+} (200 и 600 мкМ) наблюдается достоверное снижение стрессового воздействия на корневую систему. Вероятно, бор способен снижать влияние алюминиевого стресса на *Pisum sativum* L.

Ключевые слова: алюминий; бор; калий; электролиты; *Pisum sativum* L; корень; кондуктометрия

ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевый стресс представляет собой один из ключевых факторов, ограничивающих рост и развитие растений на кислых почвах (глина) [1]. Воздействие Al^{3+} приводит к ингибированию развития корневой системы, снижению фотосинтетической активности, нарушению транспортных процессов и утечке электролитов. Для снижения токсичного влияния Al^{3+} растения выработали несколько механизмов защиты: утечка органических анионов (малат²⁻, цитрат³⁻) из клетки и хелатирование Al^{3+} ; протекторное влияние бора за счет модификаций систем пассивного и активного транспорта плазматической мембраны клеток корня [3, 4]. В настоящее время слабо изучены механизмы влияния Al^{3+} на системы пассивного транспорта в корневой системе высших растений. В этой связи, целью работы являлось выявление протекторного влияния бора на Al^{3+} -индуцированную утечку электролитов из клеток корня высших растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись проростки *Pisum sativum* L., выращенные на водной среде, содержащей 100 % Кноп (100 мМ KH_2PO_4 ,

100 мМ КСl, 100 мМ Са(NO₃)₂, 100 мМ MgSO₄, 100 мМ FeCl₃). Растения культивировались с использованием классического рулонного метода [2]. Первая группа растений выращивалась при дефиците бора в питательной среде, Вторая – в среде, содержащей 2,5 мкМ Н₃ВО₃. Измерение содержания К⁺ проводилось при помощи кондуктометра (Нl2300). Расчеты производились на основе калибровочной зависимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Был проведен кондуктометрический анализ для выявления воздействия Al³⁺ на утечку К⁺ из клеток корня *Pisum sativum* L., выращенных в условиях различной обеспеченности бором. В работе были протестированы следующие концентрации Al³⁺: 200, 600, 1200 мкМ. Для повышения точности анализа был введен дополнительный контроль (рН = 4,5), т.к. Al³⁺ находится в доступной форме в кислой среде. В качестве положительного контроля использовался 20 % этиловый спирт. Установлено, что добавление Al³⁺ в среду приводит к значительной утечке К⁺ из клеток корня *Pisum sativum* L., выращенных в условиях дефицита бора.

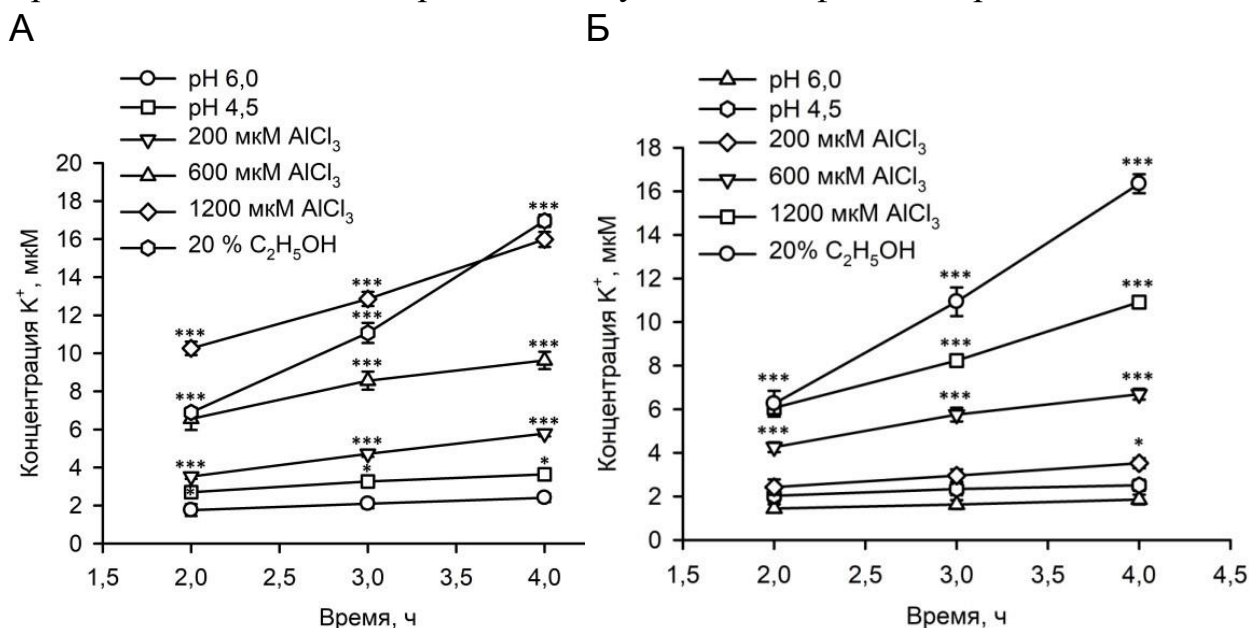


Рис. 1 – Динамика утечки К⁺ при воздействии стрессоров (Al³⁺, C₂H₅OH).
 А – *Pisum sativum* L., выращенные при дефиците бора. Б – *Pisum sativum* L., выращенные в условиях обеспеченности бором. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-тест, где ***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05

Показано, что с увеличением концентрации стрессора наблюдается пропорциональное повышение утечки К⁺ (рисунок 1, А). При добавлении 20 % этилового спирта в среду наблюдается изменение кинетики утечки

электролитов в связи с разрушением плазматических мембран поверхностных клеток корня гороха.

Показано, что растения *Pisum sativum* L., выращенные в нормальных условиях, демонстрируют сходные ответы на Al^{3+} -стресс с растениями гороха, выращенными в условиях дефицита бора (рисунок 1, Б). Наблюдается достоверное увеличение утечки K^+ при повышении концентрации Al^{3+} в среде. Воздействие этилового спирта приводит к массивной утечке K^+ из клеток корня гороха; кинетика утечки электролитов сходная с данными, полученными на растениях 1 группы (рисунок 1, А). Полученные данные свидетельствуют о различных механизмах, ответственных на утечку электролитов (K^+) из клеток корня *Pisum sativum* L., при воздействии алюминиевого стресса и добавлении в среду этилового спирта.

На рисунке 2 представлены данные, демонстрирующие изменения потока K^+ из клеток корня *Pisum sativum* L., выращенного в условиях дефицита и нормальной обеспеченности бором.

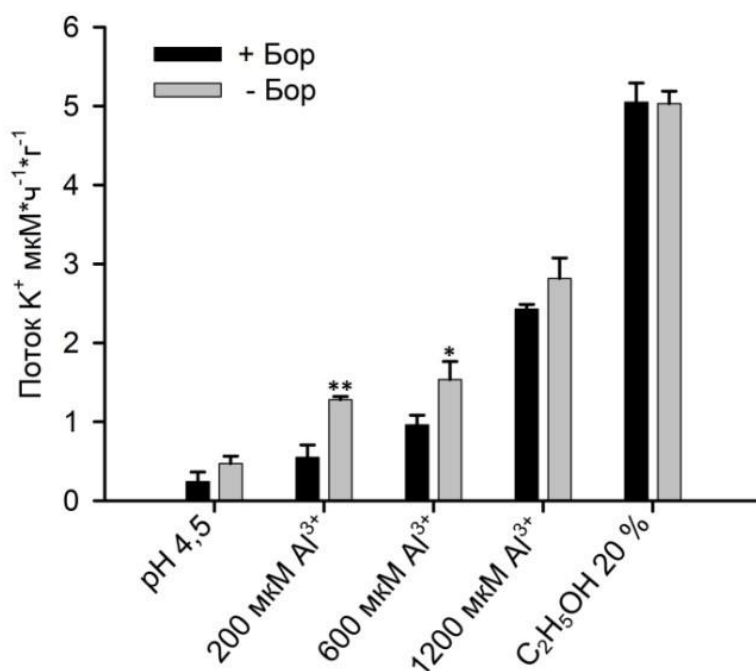


Рис. 2 – Поток K^+ при воздействии стрессоров (Al^{3+} , C_2H_5OH) у *Pisum sativum* L., выращенных в условиях различной обеспеченности бором. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-тест, где *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$.

Продемонстрировано, что у растений, выращенных в нормальных условиях, наблюдается достоверное снижение утечки калия из клеток корня при воздействии Al^{3+} в концентрациях 200 и 600 мкМ, по сравнению с растениями, выращенными в условиях дефицита бора.

Вероятно, бор обладает протекторными свойствами при алюминиевом стрессе. Однако, не установлено протекторного влияния бора при добавлении этилового спирта в среду. Вероятно, бор проявляет свои протекторные свойства при невысоких концентрациях Al^{3+} , воздействующих на определенные ионные каналы плазматической мембраны клеток корня *Pisum sativum* L.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе было показано, что добавление в среду Al^{3+} индуцирует утечку K^+ из клеток корня *Pisum sativum* L. прямо пропорционально с увеличением концентрации Al^{3+} и временем воздействия стрессора. Установлено, что бор оказывает протекторное влияние на системы пассивного транспорта клеток корня *Pisum sativum* L. при воздействии 200 и 600 мкМ Al^{3+} .

Библиографические ссылки

1. Kar, D. The role of solute transporters in aluminium toxicity and tolerance / D. Kar, A. Pradhan, S. Datta // *Physiol. Plant.* – 2020.
2. Jensen, M.H. Hydroponics / M.H. Jensen // *HortScience.* – 1997. – Vol. 32. – P. 1018-1021.
3. Mechanisms of organic acids and boron induced tolerance of aluminum toxicity: a review / M. Riaz [et al] // *Ecotoxicol Environ Saf.* – 2018. – Vol. 165. – P. 25-35.
4. Mechanisms on boron-induced alleviation of aluminum-toxicity in *Citrus grandis* seedlings at a transcriptional level revealed by cDNA-AFLP analysis / X. X. Zhou [et al] // *PLoS ONE.* – 2015. – Vol. 10. – P.115-485.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮЦИГЕНИНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д.В. Земко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

makovitskayama@gmail.com;

науч. рук. – М. А. Войтехович

Изучение активных форм кислорода является важной частью понимания различных процессов протекающих в клетке, а разработка методов, позволяющих регистрировать образование активных форм кислорода в живых системах, является актуальной задачей исследований в данной области. Одним из таких методов является метод хемилюминесценции, который связан с использованием зондов – соединений, вступающих в реакции с активными формами кислорода, в ходе которых образуются молекулы продуктов в возбужденном электронном состоянии. Переход из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием квантов света. Одним из представителей таких зондов является люцигенин. Целью настоящей работы было протестировать возможность применения люцигенина для обнаружения активных форм кислорода в клетках растений.

Ключевые слова: корни проростков *Pisum sativum* L.; активные формы кислорода; хемилюминесцентные зонды; люцигенин; люминесценция; люминометр.

ВВЕДЕНИЕ

Активные формы кислорода (АФК) образуются в живых системах постоянно и являются обычным продуктом обмена веществ, играющим важную роль в клеточной сигнализации и поддержании гомеостаза. Однако, действие различных абиотических стресс-факторов способно резко увеличивать продукцию АФК и приводить к повреждению клеточных структур или гибели целого организма. К основным АФК, обнаруженным в биологических системах, и играющим важное значение в индукции окислительного стресса относятся: супероксидный анионный радикал ($O_2^{\cdot-}$), гидроксильный радикал ($\cdot OH$), перекись водорода (H_2O_2) и др. [1]. Изучение АФК является важной частью понимания различных процессов протекающих в клетке, а разработка методов, позволяющих регистрировать образование АФК в живых системах, является актуальной задачей исследований в данной области. Одним из таких методов является метод хемилюминесценции (ХЛ), который обладает рядом преимуществ по сравнению с другими. Во-первых, он не связан с изменением хода процессов в растворах, клетках или даже целых тканях, где регистрируется свечение; во-вторых, он весьма чувствителен при обнаружении именно высокорекреационных радикалов [2].

Метод ХЛ связан с использованием веществ активаторов ХЛ(ХЛ-зонды)[2]. Одним из представителей таких ХЛ-зондов является люцигенин (10,10'-диметил-9,9'-биакридиния динитрат). Люцигенин работает как ХЛ-зонд начиная с рН 9,0. Люцигенин-активируемая ХЛ (Люц-ХЛ) может применяться для обнаружения $O_2^{\cdot-}$ и H_2O_2 [3]. В водном щелочном растворе люцигенин находится в виде двухвалентного катиона, способного взаимодействовать с $O_2^{\cdot-}$ и приводить к образованию нестабильного соединения – люцигениндиоксетана, который распадается на две молекулы N-метил-акридона. Одна из молекул N-метил-акридона находится в электронно-возбужденном состоянии, ее переход из возбужденного состояния в основное приводит к люминесценции. Реакция люцигенина с H_2O_2 также приводит к образованию возбужденного состояния N-метил-акридона, способного к свечению [3]. Таким образом, считается, что люминесценция наблюдаемая от N-метил-акридона пропорциональна концентрации АФК. В ранних работах Люц-ХЛ применялась для оценки продукции АФК фагоцитами[2]. Однако, ряд исследователей ставит под сомнения возможность применения люцигенина для достоверной оценки продукции АФК в живых системах, так как в определенных условиях люцигенин может сам являться источником $O_2^{\cdot-}$ в результате его автоокисления [3]. В связи с этим, целью работы было протестировать возможность применения люцигенина для обнаружения АФК в клетках растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись 5-дневные проростки гороха полевого (*Pisum sativum* L.). Регистрация люминесценции осуществлялась при помощи высокочувствительного компьютеризированного люминометра Turner BioSystems 20/20 (США). Нарезанные на небольшие фрагменты (длиной 3-4 мм) корни проростков гороха помещались в кварцевые кюветы с 300 мкл H_2O . Далее, кюветы, переносились в измерительный отсек люминометра, и записывался временной ход эмиссии светового сигнала от пробы с частотой 1 Гц. Через 2 мин в кювету вводился люцигенин или люцигенин с тестируемым раствором через специальный канал, ведущий в рабочий отсек люминометра. Остановка записи люминометра осуществлялась по завершению реакции свечения. Рабочие растворы готовились на деионизированной воде. Конечная концентрация люцигенина в пробе с растениями составляла 10 мкМ. В качестве дополнительного источника АФК использовался 200 мМ NaCl. Значение рН для всех растворов фиксировалось на отметки 9,0 при помощи 1 М ТРИС / 0,5 М МЕС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе работы с люцигенином проводился подбор рабочей концентрации зонда и оптимального значения рН. Было протестировано влияние различных концентраций люцигенина (10–1000 мкМ) с рН 9 на способность вызывать собственное свечение. Показано, что концентрация люцигенина от 10 до 100 мкМ не приводила к свечению. Люминесценция начиналась от 150 мкМ люцигенина и составляла 0,57 отн. ед., для 0,5 мМ люцигенина – 1,98 отн. ед., а 1 мМ люцигенина – 25,30 отн. ед. Далее было протестировано влияние рН на возникновение свечения люцигенина. Раствор люцигенина в концентрациях 0,5 мМ и 1 мМ доводили до отметки рН в 6, 7, 8, 9 и 10. Установлено, что при рН 6–8 свечения люцигенина не наблюдалось, а при рН 9 и 10 отмечалось явление люминесценции. Различий в интенсивности свечения люцигенина с рН 9 и 10 выявлено не было. Следующим шагом было изучено взаимодействие различных концентраций люцигенина с 1 мМ H_2O_2 . Результаты эксперимента показали, что реакция люцигенина с H_2O_2 приводила к резкому увеличению интенсивности свечения: 10 мкМ люцигенина – на 50 отн. ед.; 150 мкМ – на 680 отн. ед.; 500 мкМ – на 3300 отн. ед.; 1000 мкМ – на 8800 отн. ед.. Таким образом, даже самая низкая концентрация люцигенина в 10 мкМ вызывала значительное увеличение свечения, что позволило использовать данную концентрацию в качестве рабочей. Эксперименты по обнаружению АФК в растениях показали, что после добавления к корням гороха люцигенина отмечалось небольшое свечение около 2 отн. ед., которое к 17 мин записи практически прекращалось. Такое длительное по времени свечение может быть связано с взаимодействием люцигенина с H_2O_2 , которая содержится в тканях корня (рис. 1).

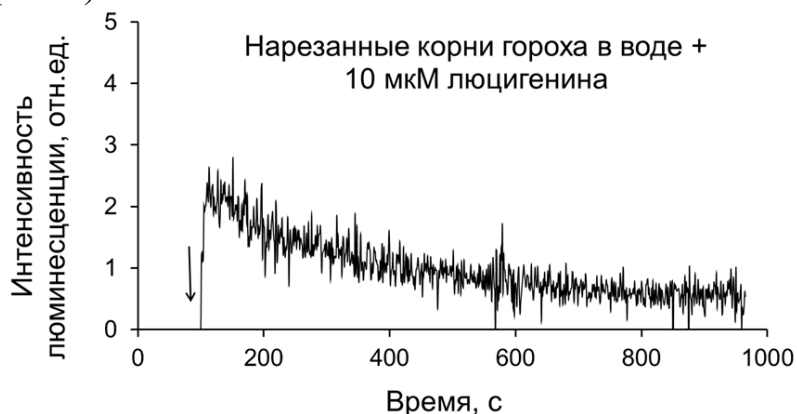


Рис. 1 Реакция 10 мкМ люцигенина с корнями гороха при рН 9 (стрелкой указан момент добавления тест-раствора)

Далее было протестировано взаимодействие люцигенина с корнями гороха и 200 мМ NaCl . Таким действием корни гороха подвергались соле-

тому стрессу, который неизбежно приводит к генерации большого количества АФК. Показано, что добавление NaCl приводило к резкому увеличению свечения образца и такому же быстрому его затуханию. Время жизни световой волны представлено на рис. 2. Интенсивность люминесценции на пике составляла 120 отн.ед.. Исходя из полученных результатов, можно предположить, что такое свечение могло быть вызвано генерацией $O_2^{\cdot-}$.

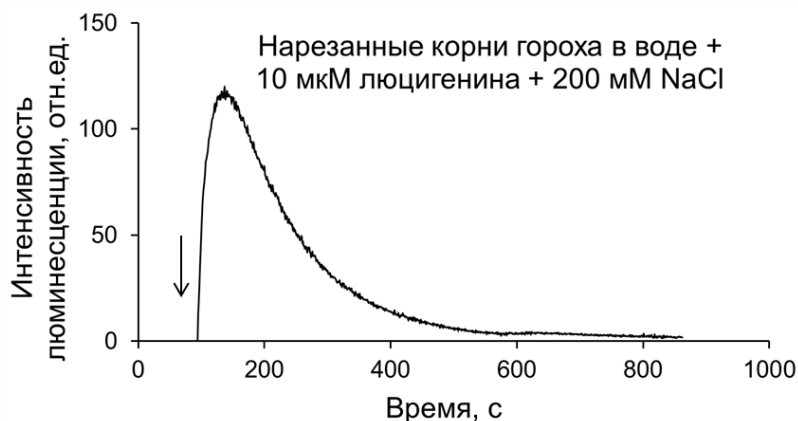


Рис.2 Реакция 10 мкМ люцигенина с корнями гороха и 200 мМ NaCl при pH 9 (стрелкой указан момент добавления тест-раствора)

Таким образом, было показано, что люцигенин может быть использован в качестве ХЛ-зонда на обнаружение АФК в тканях растений. Однако, важным условием в работе с этим зондом является правильный подбор рабочей концентрации, которая не будет вызывать собственного свечения люцигенина (автоокисление) и соблюдение уровня pH.

Библиографические ссылки

1. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // Environmental and Experimental Botany. 2015. Vol. 109, № 17. P. 212–228. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021.
2. Владимиров Ю. А., Проскурнина Е. В. Свободные радикалы и клеточная хемилюминесценция // Успехи биологической химии. 2009. Т. 49. С. 341–388.
3. Afanas'ev I. B., Ostrachovitch E. A., Korkina L. G. Lucigenin is a mediator of cytochrome C reduction but not of superoxide production // Archives of Biochemistry and Biophysics. 1999. Vol. 366, № 2. P. 267–274. DOI: 10.1006/abbi.1999.1215.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВИДЕОКАМЕР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУПНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ И ПТИЦ – УТИЛИЗАТОРОВ ТРУПОВ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ БЕРЕЗИНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А.А. Кислякова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

stesha0712@gmail.com

науч. рук. – В.В. Гричик, д-р. биол. наук, проф.

Представлены результаты обработки данных, полученных с фото и видео ловушек, установленных в Березинском биосферном заповеднике в период с 2017 по 2018 год. Изучен видовой состав основных потребителей трупов крупных копытных животных в условиях лесной зоны умеренных широт: функцию первичной утилизации крупных диких животных в наших широтах выполняют хищники и всеядные звери и птицы. Общее время, когда камерами была зафиксирована активность рядом с трупами составило не менее 113 часов 55 минут. За это время поедание трупов было зафиксировано для 7 видов птиц и 8 видов млекопитающих. Дана характеристика основным первичным утилизаторам трупов крупных копытных. Сделан вывод о целесообразности использования камер для экологических и бихевиорологических исследований.

Ключевые слова: видеокамеры; фотоловушки; видеоловушки; падальщики; утилизаторы; копытные; хищники; видовой состав.

Утилизация трупов крупных животных – важная составляющая биотического круговорота веществ. С экологической точки зрения перед падальщиками стоит важная задача: они служат важным звеном в переработке органики, делают её более доступной для микроорганизмов, и, кроме того, они ликвидируют потенциальные рассадники инфекционных болезней [1].

Падальщики противопоставляется хищникам, однако эти типы питания не исключают друг друга. В частности, среди млекопитающих, населяющих лесную зону умеренных широт, нет специализированных падальщиков [2]. Что касается птиц, на территории Беларуси зарегистрирован один вид, относящийся к падальщикам – белоголовый сип, однако это очень редкий случайно залетный вид. Таким образом функцию первичной утилизации крупных диких животных в наших широтах выполняют хищники и всеядные звери и птицы [3].

Несмотря на всю важность процесса первичной утилизации, это явление изучено недостаточно, в связи с этим полученные данные представляют определённый интерес. Отдельно можно выделить тот факт, что потребителями падали на территории Беларуси являются некоторые краснокнижные виды: медведь бурый, беркут и орлан-белохвост [4].

Исследования проводились на базе Березинского биосферного заповедника начиная с 2017 года с помощью видеокамер, установленных в 8 местах возле трупов одной косули, трех лосей и четырех благородных оленей.

Двое лосей и косуля погибли, провалившись под лед реки Березина, один лось был убит хищниками, скорее всего волками и съеден лишь частично. Все четыре оленя так же были убиты хищниками – три волками, один рысью.

Для наблюдения были установлены камеры FalconEye FE-AC 200 и SeelockSpromise S128. Проверка и перезарядка камер осуществлялась с интервалами от 7 до 15 дней. Места установки камер и время их работы следующее:

1. Заречное лесничество, около 1 км от д. Уборок; июнь 2017.
2. Заречное лесничество, берег р. Березина; февраль 2017.
3. Крайцевское лесничество, берег р. Березина, около 2 км от д. Броды; февраль 2018.
4. Крайцевское лесничество, около 1 км от д. Крайцы и менее 1 км от р. Сергуч и Сергучского канала; апрель 2018.
5. Крайцевское лесничество, около 0,5 км от Сергучского канала; март 2018.
6. Крайцевское лесничество, около 150 м от д. Переходцы; февраль–март 2018.
7. Крайцевское лесничество, берег Сергучского канала, окраина д. Крайцы; начало марта 2018.
8. Крайцевское лесничество, окраина д. Кветчи; март 2018.

Записи с камер обрабатывались путём полного просмотра, определения видов находящихся в кадре зверей и птиц и их количества, а также протоколирования всех отражённых в записи событий. Впоследствии подсчитывалось общее время присутствия на записях камер каждого вида, анализировалось время суток и характер деятельности отмечаемых особей. Все полученные данные были структурированы и занесены в таблицу для дальнейшего анализа. Перечень видов и время их нахождения возле трупов копытных представлены в таблице 1.

Таблица 1

Данные о видовом составе утилизаторов и времени их нахождения возле трупов копытных

Вид	Время активности, ч
Енотовидная собака	44,11
Лесная куница	34,45
Лисица	16,45
Ворон	3,3
Канюк	2,55
Медведь	2,47
Сойка	2,17
Кабан	2,12
Орлан-белохвост	1,54
Беркут	0,31
Домашняя кошка	0,28
Синица большая	0,25
Волк	0,25
Сорока	0,11
Домашняя собака	+
Всего	113 ч 55 мин

Поедание трупов было зафиксировано для 7 видов птиц и 8 видов млекопитающих. Как можно заметить, наиболее часто возле трупов находилась енотовидная собака. В питании данного вида падаль может составлять до 41,6 процента от потребляемой пищи [5]. Падаль енотовидная собака использует в течение всего года, но особенно часто – в зимний и ранневесенний периоды, что подтверждается видеозаписями.

В отличие от енотовидных собак при приближении к трупам лисица ведёт себя куда более осторожно, осматриваясь, прислушиваясь и подолгу нюхая воздух. Именно лисица проявляла агрессию, встретив возле трупа других животных. Лисицы возле трупов были отмечены тремя камерами в период март-апрель.

Куница была замечена возле туши длительное время в период с 20 по 27 февраля и лишь один раз – в апреле у туши оленя, при этом регистрировалась в любое время суток: как в тёмное, так и в утренние и дневные часы. Поведение было весьма осторожным: куница покидала место кормления до появления других хищников. К тому же она испытывала заметные затруднения с поеданием замёрзшего мяса. На других видеокameraх появление куницы зарегистрировано не было.

Камерами в Заречном лесничестве были зафиксированы кабаны. Поедание падали в зимнее время – обычное явление для этих всеядных животных [5].

Волк кормился у туши однажды, 13 февраля 2018 года. Общее время, зафиксированное для волка, составило меньше 30 минут.

Медведь был зафиксирован лишь камерой в период со 2 по 14 июня, при этом фиксировался и в дневное, и ночное время, однако к поеданию приступил лишь в тёмное время суток. Ранним утром 2014 года медведь утащил тушу из-под поля зрения камеры и более не фиксировался.

Также кормящимися на трупах были зафиксированы домашняя собака и кошка, приходящие из близлежащих деревень.

Среди птиц наибольшее время возле туш провели ворон и канюк, при этом вороны чаще всего появлялись в количестве не менее двух особей, максимальное зарегистрированное количество – 19 особей. Вороны были замечены на 6 камерах в зимний, весенний и летний периоды наблюдений. Птицы активно поедали мясо с туш, не испытывая затруднений. Пададь является основной пищей воронов в зимний период, и их приспособленность к данному типу питания весьма заметна [6]. Однако даже находясь в группе из более 10 особей, вороны не идут на конфликт с орланом и беркутом, предпочитая отступить и наблюдать за крупным хищником издалека.

Орлан-белохвост и беркут были зафиксированы на трупке лося, провалившегося под лёд, 10 февраля 2018 года. Птицы никак не выказывали агрессии по отношению друг к другу, спокойно разделяя трапезу.

Среди других врановых у туш поедающим мясо отмечались сорока и сойка. Так же были замечены несколько больших синиц.

Полученные данные позволяют составить предположительную картину об основных видах – потребителях трупов крупных животных в лесных экосистемах Беларуси. Накопление более обширных данных с видеолушек позволит более детально оценить роль конкретных видов в биотическом круговороте, а также подробнее исследовать иные особенности данных видов, такие как суточную активность, внутри- и межвидовые отношения, сезонные аспекты питания и другое. Применение камер для этих целей оказалось весьма успешным – оно существенно облегчает решение этих задач.

Библиографические ссылки

1. Бигон М., Харпер Дж., Таусенд К. Экология. Особи, популяции, сообщества. М.: Мир. 1989. – Т. 2. – 477с.
2. Савицкий Б.П., Кучмель С.В., Бурко Л.Д. Млекопитающие Беларуси. – Мн.: БГУ, 2005. – 319 с.
3. Быкова Н. К., Лях Ю. Г., Пальчевская К. И., Ермолаева И. А., Янута Г. Г. "Животный мир"/ Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень за 2013 год. Минск, 2014 С.272-305.
4. Гричик, В.В., Бурко Л.Д. Животный мир Беларуси. Позвоночные. Мн: Издательский центр БГУ, 2013. – 399 с.
5. Сержанин И. Н. "Млекопитающие Белоруссии". Издание 2-е. Минск, 1961. -321с.
6. Fransson, T., Jansson, L., Kolehmainen, T., Kroon, C. & Wenninger, T. (2017) EURING list of longevity records for European birds.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЛАНИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ ТРУТОВИКА НАСТОЯЩЕГО (FOMESFOMENTARIUSL)

А.Ю. Кожурова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

Aleksandra_kozhurova@mail.ru;

науч. рук. – Д.А. Новиков, канд. биол. наук., доц.

В связи с активным развитием химической промышленности и уменьшением концентрации озона в атмосфере увеличивается интенсивность ультрафиолетового облучения, что приводит к обострению проблем химического канцерогенеза. Ультрафиолетовое излучение – патогенный фактор, от которого необходима защита всех живых организмов. Трутовик настоящий (*FomesFomentariusL.*) широко распространен в средней полосе и является перспективным возобновляемым источником меланиновых пигментов. Меланины трутовых грибов способны поглощать в широком диапазоне длины волн и в сочетании с антиоксидантной активностью снижают токсическое действие ультрафиолетового излучения. Меланиновые пигменты остаются еще мало изученными и как в отношении структуры, так и в отношении механизма их действия [1]. В связи с этим особый интерес представляет изучение физико-химических и хелатирующих свойств, антиоксидантной активности.

Цель данной работы – изучение физико-химических и биохимических свойств меланиновых пигментов трутовика настоящего (*FomesFomentariusL.*).

Ключевые слова: трутовик настоящий, меланин, меланиновые пигменты, физико-химические свойства меланиновых пигментов, карбонильные группы, карбоксильные группы, хелатирующие свойства, антиоксидантная активность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе были исследованы меланиновые пигменты, выделенные из Трутовика настоящего (*Fomes fomentarius L.*).

Трутовые грибы (50г) измельчают и заливают 1 литром раствора для экстракции (1н NaOH) и, при постоянном перемешивании механической мешалки, оставляют на 48 часов при комнатной температуре. После раствор фильтруют через двойной слой марли и центрифугируют (15 мин при 5000 об/мин) для удаления крупных частиц. К полученному супернатанту при постоянном перемешивании медленно добавляют концентрированную соляную кислоту до pH=2. Выпавший хлопьевидный осадок центрифугируют (10 мин при 5000 об/мин) и осадок промывают дистиллированной водой до нейтральной среды. Эстрагированный пигмент осаждают центрифугированием (10 мин при 5000 об/мин) и растворяют в минимальном объеме 0,1н NaOH.

Изучение физико-химических и хелатирующих свойств, антиоксидантной активности проводили согласно методическому пособию [2, 3, 4, 5, 6]. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли с помощью лицензионной программы SPSS Statistics 17.0. В работе приведены средние значения величин и стандартные ошибки ($X \pm Sx$), а также достоверность при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Первоначально нами были выделены, очищены, идентифицированы черные пигменты меланиновой природы, определены содержания карбонильных ($0,00178 \pm 0,0393$ моль/л) и карбоксильных групп ($1,87 \pm 2\%$) и tg угла наклона спектра поглощения при $\lambda = 340-600$ нм ($0,0067$).

Спектр поглощения не имеет максимумов, что отмечается у природных феомеланинов при $\lambda = 500-550$ нм.

В результате потенциометрического титрования ацетатами меди, свинца, кобальта и кадмия, было установлено, что 1 мг меланина трутового гриба (*Fomesfomentarius*L.) связывает $20,98 \pm 0,161$ мг ионов меди; $60,71 \pm 0,2317$ мг ионов свинца; $29,4 \pm 0,1801$ мг ионов кобальта и $7,34 \pm 0,1156$ мг ионов кадмия.

Исследуя результаты эксперимента, можно сказать, что способность меланинов трутового гриба (*Fomesfomentarius*L.) связывания ионов металлов в ряду Cd^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} увеличивается.

Было установлено, что процесс ингибирования пероксидазного окисления аминобифенилов меланинами носит сложный характер. При концентрации меланина из трутовика настоящего $0,025$ мкМ степень ингибирования составляла 79 % для бензидина.

С целью последующего изучения механизма антиоксидазного действия меланинов нами была выбрана модель пероксидазного окисления производственного канцерогена – бензидина в присутствии различных концентраций меланина. Наиболее типичные результаты представлены на примере ингибиторного анализа окисления бензидина пероксидазой хрена в присутствии меланина.

Анализ кинетических кривых накопления продуктов пероксидазного окисления бензидина показывает, что меланин при более высоких концентрациях ($0,76 - 3,0$ мкМ) ингибирует этот процесс с высокой эффективностью. Наличие периода индукции свидетельствует о том, что на этом временном интервале пероксидазного окисления бензидина меланин непосредственно проявляет антиоксидантные свойства, обезвреживая на своей полимерной структуре радикальные продукты реакции.

Наблюдаемое после периода индукции возобновление интенсивности пероксидазного окисления бензидина свидетельствует о том, что в данных условиях меланин исчерпал свои возможности как антиоксиданта и больше не в состоянии ингибировать данный процесс. При этом уменьшение интенсивности окислительного процесса после окончания периода индукции по сравнению с контролем является следствием частичной инактивации катализатора самими радикальными продуктами окисления бензидина.

Согласно теории метода ингибиторов, для цепных радикальных реакций ингибитор расходуется с постоянной скоростью v_i/f , где f – стехиометрический коэффициент ингибитора, означающий число радикалов, гибнущих на одной молекуле антиоксиданта. Меланин ингибирует процесс окисления бензидина в концентрациях 0,01–2,0 мкМ. При низких концентрациях ингибитора (0,15–0,7 мкМ) коэффициент $f \approx 2$. При концентрациях меланина 1–3 мкМ $f \approx 14 - 18$. Полученная величина подтверждает высокую эффективность полимерного антиоксиданта в процессе пероксидазного окисления бензидина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показано: 1) Меланины из трутовика настоящего (*Fomesfomentarius*L.), имеют характерный спектр поглощения при $\lambda = 340-600$ нм без выраженных максимумов. При этом tg угла наклона составил 0,0067, количество карбонильных и карбоксильных групп составило $0,00178 \pm 0,0393$ моль/л и 1,87% соответственно. 2) Меланиновые пигменты из трутовика настоящего (*Fomesfomentarius*L.) обладают выраженными хелатирующими свойствами. 1 мг меланинов способен связать $20,98 \pm 0,161$ мг ионов меди, $60,71 \pm 0,2317$ мг ионов свинца, $29,4 \pm 0,1801$ мг ионов кобальта, $7,34 \pm 0,1156$ мг ионов кадмия. Способность меланинов трутового гриба (*Fomesfomentarius*L.) связывания ионов металлов в ряду Cd^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} увеличивается. 3) При изучении антиоксидантных свойств меланинов обнаружено, что степень ингибирования пероксидазного окисления для бензидина составила 79%, при низких концентрациях ингибитора коэффициент $f \approx 2$, что характерно для многих фенольных антиоксидантов, при высоких концентрациях меланина $f \approx 14 - 18$. Полученная величина подтверждает высокую эффективность полимерного антиоксиданта в процессе пероксидазного окисления бензидина.

Библиографические ссылки

1. Бриттон, Г. Биохимия природных пигментов / Г. Бриттон. – М.: Мир, 1986. – 422.

2. *Новиков, Д.А.* Фармацевтическая биотехнология. Методическое пособие к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов / *Д.А. Новиков* – Минск, 2016. – 28 с
3. *Семак, И.В., Губич, О.И., Зырянова Т.Н.* Методы аналитической биохимии: лаб. практикум для студентов биологического факультета, обучающихся по спец. 1-31 01 01 «Биология (по направлениям)» и 1-31 01 02 «Биохимия» / составители: *И. В. Семак, О. И. Губич, Т. Н. Зырянова.* – Минск: БГУ, 2012. – 123 с.
4. Хелатирующие свойства растительных меланинов // Биологический факультет БГУ [электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://www.bio.bsu.by/proceedings/articles/2006-1-1-105-114.pdf>. – Дата доступа: 27.03.2020.
5. *Sidney Siggia.* Instrumental Methods of Organic Functional Group Analysis / Wiley-Interscience a Division of John Wiley & Sons. – Inc: New York, London, Sydney, Toronto. – 1972 – 464p.
6. *Занис Г.Ф.* Функциональный анализ лигнинов и их производных. – Рига: Знатне, 1987. – 189

МИКОБАКТЕРИИ ТУБЕРКУЛЕЗА ОБРАЗУЮТ НЕКИСЛОУСТОЙЧИВЫЕ ФОРМЫ НА УПРОЩЕННЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ РОСТА

М.В. Кучвальский

Белорусский государственный университет, г. Минск;

kuchvalskimv@gmail.com;

науч. рук. – А.П. Лысенко, д-р вет. наук, проф.

Микобактерии туберкулеза при стрессовых воздействиях образуют формы с дефектной клеточной стенкой. Эти формы некислоустойчивы, видимо, из-за укорочения цепей миколовых кислот. Впервые смоделирована потеря и восстановление (реверсия) кислотоустойчивости штамма H37Rv *Mycobacterium tuberculosis* на специальных питательных средах. Бакмасса предварительно была инкубирована в стимуляторе роста. Показано, что первичная трансформация микобактерий туберкулеза в некислоустойчивые формы занимает 1-2 недели, и такие формы в пересевах вырастают за сутки.

Ключевые слова: измененные формы микобактерий; латентный туберкулез; дефектная клеточная стенка; стимуляция роста; кислотоустойчивость; плеоморфность.

ВВЕДЕНИЕ

Туберкулез входит в десятку самых смертоносных заболеваний на Земле[1]. Краеугольным камнем его диагностики остается «золотой стандарт» – выделение культур микобактерий туберкулеза (МБТ) на среде Левенштейна-Йенсена. На такой среде за 20-60 дней вырастают типичные микобактерии[2].

Вместе с тем, у МБТ в ответ на стрессовые воздействия (изменение внешней среды, воздействие физических и химических факторов) изменяется их форма, а также строение клеточной стенки[3; 4]. Тинкториально это проявляется в окраске микобактерий. Если их покрасить по Циль-Нильсену или по Киньону («холодный» метод), то типичные кислотоустойчивые (КУ) МБТ окрасятся в рубиново-красный цвет, а некислоустойчивые (НКУ) формы с т.н. дефектной клеточной стенкой (CWD – cell wall deficient) – в синий цвет[5].

Во многих работах доказан феномен CWD-форм: их опосредованно удалось выявлять в опухолевом материале[6], систематически выделяются CWD изоляты из различных источников от сельскохозяйственных животных [7]. Значительный интерес представляет изучение трансформации МБТ в CWD-формы.

Целью данной работы являлось провести трансформацию КУМБТ в НКУ-формы *in vitro* с использованием специальных стимуляторов и питательной среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе работы бакмасса штамма *M. tuberculosis* H37Rv была смешана со стимуляторами роста микобактерий и высеяна на питательную среду МусСелДВ [8]. Мазки окрашивали по Киньону.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Через сутки после суспензирования бакмассы во всех вариантах стимуляторов и в отрицательном контроле (физиологический раствор) обнаружили как КУ, так и НКУ бактерии (рисунок 1). На 18 день инкубации в стимуляторах у КУ-форм палочковидная форма была слабо выраженной, зачастую они превращались в бесформенные протопласты. Через 2 месяца после суспендирования бакмассы в некоторых стимуляторах обнаружили формы, неокрашивающиеся по Киньону. В микроскопе они были бесцветными, а найти их можно было по преломляющимся границам клетки.

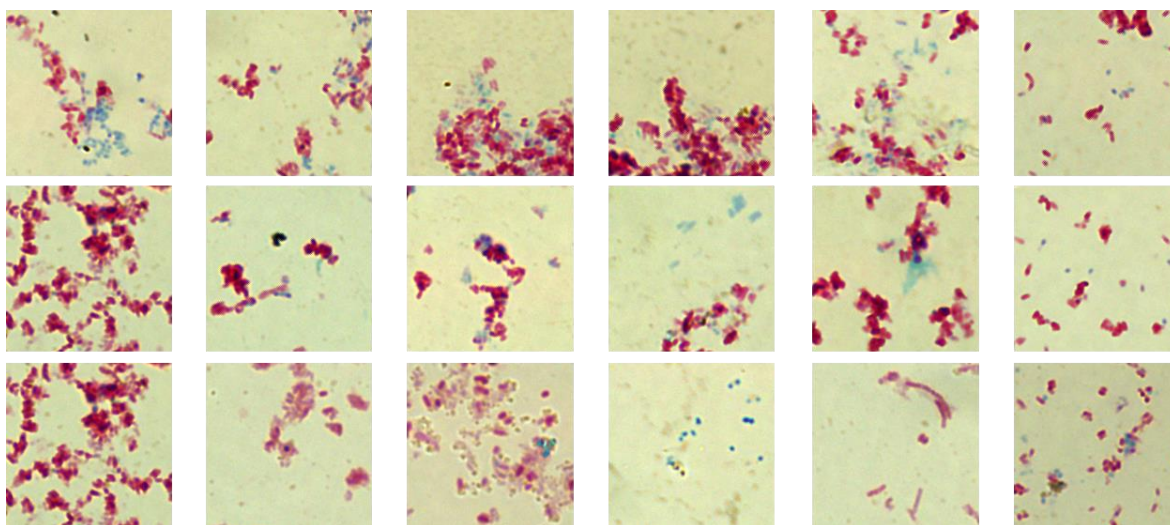


Рис. 1 Морфология бактериальных клеток *M.tuberculosis*H37Rv: верхняя строка – на первый день, средняя строка – на пятый день, нижняя строка – на восемнадцатый день инкубации; правый столбец – в физиологическом растворе, остальные столбцы – в стимуляторах роста.

При посеве суспензий на специальные среды во всех случаях наблюдали переход от КУ к НКУ формам (рисунок 2). Уже через 72 часа после

инокуляции суспензий обнаружили L-формы, а также другие НКУ-элементы в посевах. В частности, встречались такие НКУ-элементы, как кокки, друзы, протопласты. Зачастую оставались КУ-элементы в посевах, но это были лишь остатки бактерий при первичных посевах. Некоторые элементы имели ЧКУ-кайму либо половинчатую КУ/ЧКУ окраску. Предположительно, из КУ/ЧКУ-элементов происходят НКУ-элементы.

В среднем через 2 недели после инокуляции в некоторых первичных посевах и пересевах были обнаружены НКУ-палочки.

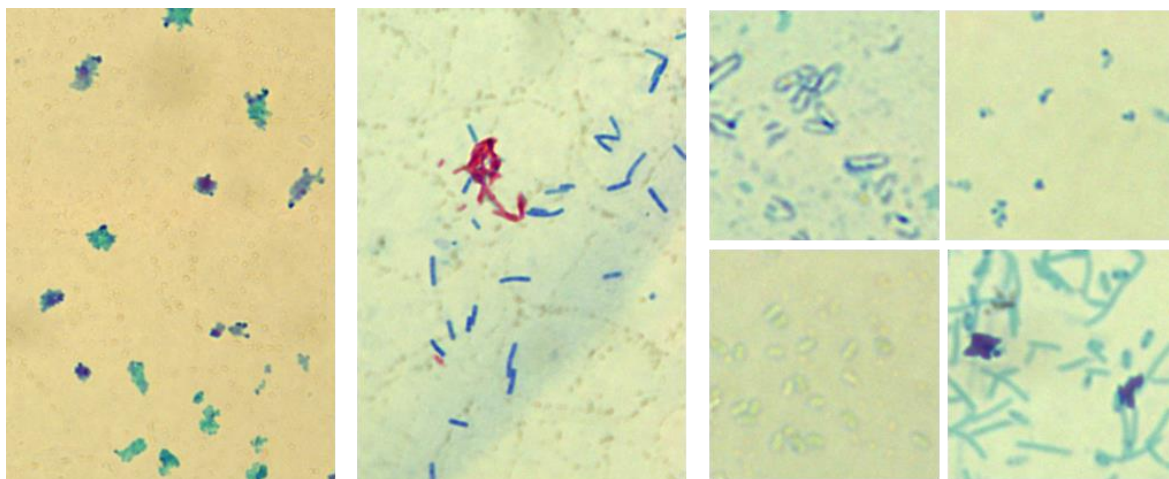


Рис. 2. Потеря кислотоустойчивости МБТ: слева – смыв со среды на третий день роста, посередине – рост НКУ-палочек на четвертый день, правая группа иллюстраций – формы МБТ на 18-й день роста

Через полгода после посевов были взяты повторные мазки с наиболее быстро выросших изолятов. На всех мазках выявили защитные формы (слабоокрашенные либо прозрачные) или КУ-протопласты (рисунок 3). Никаких НКУ-форм обнаружено не было. Эти изоляты пересеяли на среду МусСел DW, а через сутки с посевов взяли мазки. Такую процедуру повторили 1 раз. Трансформация КУ-протопластов в НКУ или ЧКУ палочки произошла в части первых пересевов и во всех вторых пересевах.

Очевидно, что смена устойчивости к кислотному окрашиванию вызвана изменением строения клеточной стенки. Считается, что кислотоустойчивость микобактерий определяют миколовые кислоты. Так, было выяснено [9], что у делеционных мутантов *kasB* (нет синтазы β -кетоацил-ацилпереносящего белка, вовлеченного в биосинтез миколовых кислот) уменьшается электронная плотность клеточной стенки, и они теряют кислотоустойчивость. В частности, этот НКУ-мутант производит более короткие миколовые кислоты с дефектами трансциклопропанирования.

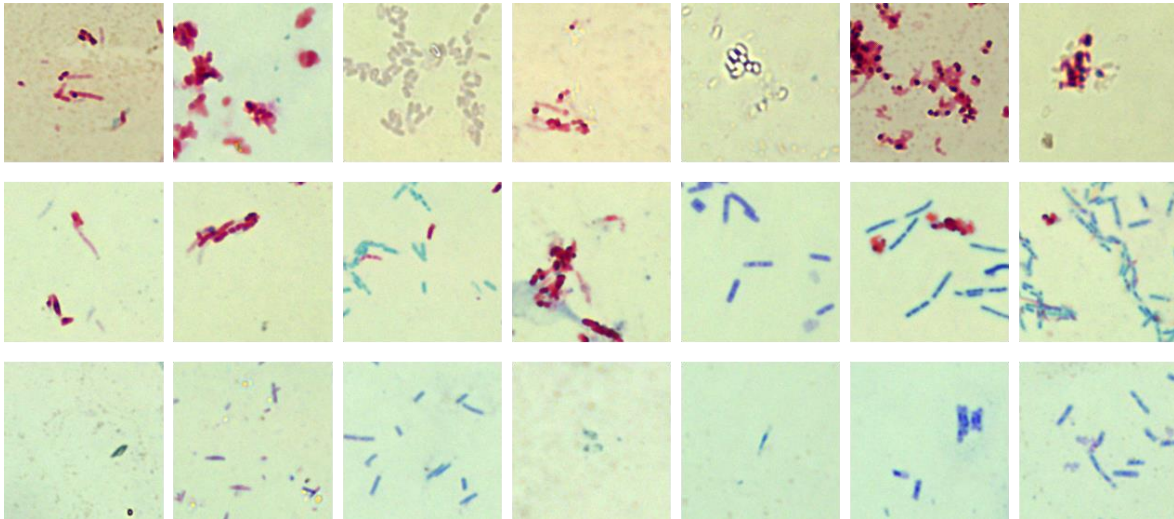


Рис. 3. Реверсия МБТ на среде МусСелДВ: верхняя строка – 6 месяцев инкубации на старой среде, средняя строка – первый пересев на свежую среду, рост через день, нижняя строка – второй пересев, рост через день

Вероятно, в случае нашего опыта, тоже происходит изменение строения миколовых кислот. Однако оно, скорее всего, вызвано не мутациями, а эпигенетическими модификациями в генах, определяющих строение миколовых кислот. В нашем опыте КУ-НКУ трансформация происходит в один ночной пересев, поэтому именно мутация маловероятна. А появление КУ-форм на среде через полгода, возможно, вызвано гетерогенностью популяции микобактерий: в посевах на МусСелДВ может оставаться немного КУ-форм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К сожалению, до сих пор в диагностике туберкулеза зачастую не учитывается феномен трансформации микобактерий. Именно СВД-варианты большинство исследователей игнорируют, принимая за контаминацию или ошибку в методике окраски, поскольку «привыкли» к «золотому стандарту». Вместе с тем важно дальше изучать феномен трансформации МБТ в СВД-формы, поскольку это проявление плеоморфности, по всей видимости, является одним из пунктов адаптивной стратегии выживания микобактерий в неблагоприятных условиях.

Библиографические ссылки

1. Global Tuberculosis Report 2020 // WHO [Electronic resource]. 2020. Mode of access: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1312164/retrieve>. Date of access: 14.05.2021.
2. Löwenstein E. Ueber Resorption und Immunitätserscheinungen: Eine Immunitätsstudie // Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten. 1905. Vol. 51. № 1. P. 341–356.

3. Микобактерии туберкулеза при термическом воздействии образуют защитные формы, проходящие через ультрафильтры и восстанавливающие жизнеспособность в виде CWD форм / А.П. Лысенко [и др.] // Эпизоотология, иммунобиология, фармакология, санитария. 2019. Т. 1. № 1. С. 33–45.
4. Микобактерии туберкулеза после летального воздействия дезинфектантов могут восстанавливать жизнеспособность в виде микобактерий с дефектной клеточной стенкой / А.Э. Высоцкий [и др.] // Эпизоотология, иммунобиология, фармакология, санитария. 2019. № 2. С. 26–35.
5. Выявление микобактерий туберкулеза в тканях с помощью дифференцирующей иммунопероксидазной окраски / А.П. Лысенко [и др.] // Туберкулез и болезни легких. 2014. № 10. С. 55–58.
6. Tian Y., Cui X.K., Hao T. Detection of Mycobacterium tuberculosis L-forms and mpb64 gene in breast cancer tissues // Journal of Practical Medicine. 2013. № 15. P. 45–46.
7. Лысенко А.П., Власенко В.В., Власенко И.Г. Выделение измененных форм микобактерий из крови крупного рогатого скота после введения туберкулина // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2011. Т. 13. № 4. С. 50.
8. Феномен изменчивости микобактерий туберкулеза и его использование для обнаружения туберкулезной инфекции / А.П. Лысенко [и др.] // Туберкулез – глобальная катастрофа человечества: материалы I Международной заочной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 24 марта 2014 г. / РостГМУ; редкол.: Т.Н. Ильин (отв. ред.) [и др.]. Ростов-на-Дону, 2014. С. 176–198.
9. Non-acid-fastness in Mycobacterium tuberculosis Δ kasB mutant correlates with the cell envelope electron density / H. Yamada [et al.] // Tuberculosis. 2012. Vol. 92. № 4. P. 351–357.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДРОЖЖЕВЫХ ГРИБОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПРИРОДНЫХ СООБЩЕСТВ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ

Г. П. Латушков

Белорусский государственный университет, Минск;

latushkovgleb@gmail.com;

науч. рук. – Мямин В. Е. канд. биол. наук, доц.

Работа посвящена изучению штаммов дрожжевых грибов, выделенных из почв Восточной Антарктиды. Рассмотрена способность данных штаммов к росту при разных температурах и в присутствии тяжелых металлов. Проверено наличие основных ферментативных активностей дрожжей при разных температурах. Результаты исследования представляют интерес, поскольку дрожжевые грибы, обитающие в условиях постоянных низких температур рассматриваются как перспективные объекты биотехнологии и источники ферментов.

Ключевые слова: холодостойкие дрожжи; микроорганизмы Восточной Антарктиды; характеристика дрожжевых грибов; психрофильные микроорганизмы

ВВЕДЕНИЕ

Дрожжевые грибы и ферментные препараты дрожжевого происхождения сегодня востребованы в разных сферах человеческой деятельности: в пищевой промышленности, в косметологии, при изготовлении фармацевтических препаратов [1, с. 27]. Дрожжи холодных мест обитания являются потенциальными источниками ценных ферментов, особенно тех, которые сохраняют высокий уровень активности при низких температурах. Такие ферменты востребованы для экологически чистого производства, связанного стермически нестойким сырьем или продукцией: в биоэнергетике, для работы с термолабильными молекулами в целях биотехнологии [2, с. 16].

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В работе была проведена характеристика двух штаммов дрожжей, выделенных из почв Восточной Антарктиды: штамма Т 3-1п и штамма Ч.Р 2-1. В процессе работы определялась принадлежность исследуемых штаммов к дрожжевым микроорганизмам, наличие капсул, значение температурных оптимумов роста и верхнего температурного предела роста, наличие амилолитической, уреазной и липолитической активностей, способность к росту в присутствии тяжелых металлов.

Полученные результаты позволили установить:

1. Оба исследуемых штамма действительно являются дрожжевыми грибами.
2. Штамм Ч.Р 2-1 имеет капсулу, в то время как для штамма Т 3-1п последняя не обнаружена.
3. Штамм Т 3-1п является психрофильным микроорганизмом (температурный оптимум 10-11 °С, верхний температурный предел роста – 22 °С), штамм Ч.Р 2-1 является психротолерантным микроорганизмом (температурный оптимум 19-21 °С, верхний температурный предел роста – 37 °С).
4. Оба штамма обладают амилолитической активностью.
5. Ни один из штаммов не проявил липолитической активности по отношению к твин 80.
6. Штамм Т 3-1п обладает уреазной активностью, для штамма Ч.Р 2-1 данная ферментативная активность не обнаружена.
7. Оба штамма способны расти в присутствии 0,001% тяжелых металлов (медь, кадмий, хром) без задержки роста. Ограниченно способны к росту в присутствии 0,025% тех же тяжелых металлов (за исключением штамма Ч.Р 2-1, который не способен к росту в присутствии 0,025% кадмия).

Библиографические ссылки

1. Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology. Second edition / edited by. Rosa Margesin - Springer International Publishing, 2017 – 661 p.
2. Biotechnology of Extremophiles / Volume Editor: G. Antranikian - Springer International Publishing, 1998 – 177 p.

ГЕНЕРАЦИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА И ИНДУКЦИЯ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ В КОРНЕ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ Ni^{2+} В СРЕДЕ

К.С. Лицкевич, А.Л. Рекиш

Белорусский государственный университет, г. Минск;

v.mackievic@gmail.com;

науч. рук. - В.С. Мацкевич

В последнее время актуальной проблемой индустриально развитых регионов стало загрязнение никелем. Повышенные уровни металла в окружающей среде наносят ущерб естественной флоре, а также вредит сельскому хозяйству. Несмотря на это, клеточные механизмы токсического действия никеля, а также роль связывания никеля с органическими лигандами остаются не изученными. Целью данной работы являлось установить роль взаимодействия Ni^{2+} с гистидином в индукции сигнальных и адаптивных реакций в корне арабидопсиса под действием никелевого стресса. Также в данной работе была проанализирована реакция на никелевый стресс линий, лишенных НАДФН-оксидаз – ферментов, ответственных за продукцию основной массы экзогенных АФК в растениях.

Ключевые слова: никель; гистидин; активные формы кислорода; флуоресцентная микроскопия; дигидроэтидиум; корень; арабидопсис; НАДФН-оксидаза.

ВВЕДЕНИЕ

Никель является необходимым микроэлементом для растений, поскольку он является функциональным компонентом растительных ферментов, в первую очередь уреазы. Однако, как и любой тяжелый металл, в высоких концентрациях никель оказывает токсическое действие на растительный организм. Избыточные уровни никеля (свыше 100 мг/г) вызывают угнетение роста растений, хлороз и некроз листьев, повреждение клеточных мембран, деградацию клеточных органелл, нарушение функционирования фотосинтетического, изменение активности ферментов и т.д. [1]. Действие никеля также сопровождается стимуляцией синтеза активных форм кислорода (АФК) и индукцией окислительного стресса, однако механизм данной реакции до конца не понятен. Известно, что в свободная ионная форма никеля (Ni^{2+}) не является редокс-активной в биологических условиях [2], вероятно для активации редокс-свойств необходимо связывание металла с хелаторами, в частности с гистидином (Гис) [3]. Целью настоящей работы являлось установить роль взаимодействия Ni^{2+} с Гис в индукции сигнальных и адаптивных реакций в корне арабидопсиса под действием Ni -стресса.

Основным источником продукции экзогенного АФК в растениях является фермент НАДФН-оксидаза [4]. В ряде работ было показано, что опосредованная НАДФН-оксидазой продукция АФК играет важную роль в регуляции адаптивных реакций растений при воздействии таких стресс-факторов, как засоление, экстремальные температуры, засуха и др. [5, 6]. Поэтому актуальным представлялось также проанализировать реакцию растений-нокаутов по данной системе в ответ на обработку Ni^{2+} и никель-гистидиновыми комплексами (Ni-Гис).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе была протестирована реакция корней модельных растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. природного экотипа Col-0 и нокаутных линии *rbohC*, *rbohD*, *rbohF*, лишённой НАДФН-оксидазы типа C, D и F, соответственно. Растения выращивались в стерильной вертикальной культуре в чашках Петри на полной среде Мурасиге и Скуга, pH 6,0, 1 % сахара, 0,35 % Phytigel в контролируемых условиях 22°C, 16 ч свет/ 8 ч темнота. Анализ роста корня проводился при помощи стандартных тестов на прорастание (germination test), а также техники замены среды: на каждый вариант обработки высаживалось по 3 чашки Петри, в каждой по 10-15 семян, замена среды проводилась на 5 сут, регистрация прироста основного корня – на 10 сут (5 сут после введения Ni^{2+} и Ni-гистидиновых комплексов). Уровень АФК в клетках корня 7-дневных растений арабидопсиса регистрировался с использованием флуоресцентного зонда ди-гидроэтидиум (ДГЭ). Растения помещались в стресс-расторы (3 ммоль/л Ni^{2+} ; 6 ммоль/л гистидин; 3 ммоль/л Ni^{2+} + 6 ммоль/л гистидин), содержащие 10^{-5} моль/л ДГЭ, на протяжении 30 мин, в качестве контроля выступал буферный раствор следующего состава (ммоль/л): 0,1 KCl, 0,1 CaCl_2 , 1 Tris/ 2 Mes pH 6,0. Флуоресценция ДГЭ регистрировалась при помощи микроскопа Nikon TS100 ($\lambda_{\text{ex}} = 490$ нм, $\lambda_{\text{em}} = 540$ нм). Изображения анализировались в приложении ImageJ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании влияния Ni^{2+} и Ni-Гис на рост основного корня *A. thaliana* с использованием техники замены среды было показано, что введение никеля в низких концентрациях (0,01–1 ммоль/л Ni^{2+}) не оказывало эффекта на скорость роста корня дикого типа Col-0. Никель начал ингибировать удлинение корня, начиная с 3 ммоль/л, вызывая снижение скорости роста на 80-85%. Обработка 10 ммоль/л Ni^{2+} вызывала 90% ингибирование. Гис уменьшал токсичность высоких уровней Ni^{2+} (3 и 10

ммоль/л). Это говорит о том, что образование Ni-Гис комплексов позволяет растениям уменьшить вредное воздействие избыточных концентраций металла. Тесты на прорастание продемонстрировали схожие результаты, однако ингибирование роста наблюдалось уже при обработке 0,1 ммоль/л Ni^{2+} . Добавление Гис оказывало протекторное действие, при этом оптимальным соотношением аминокислоты к Ni^{2+} являлось 2:1 (рисунк).

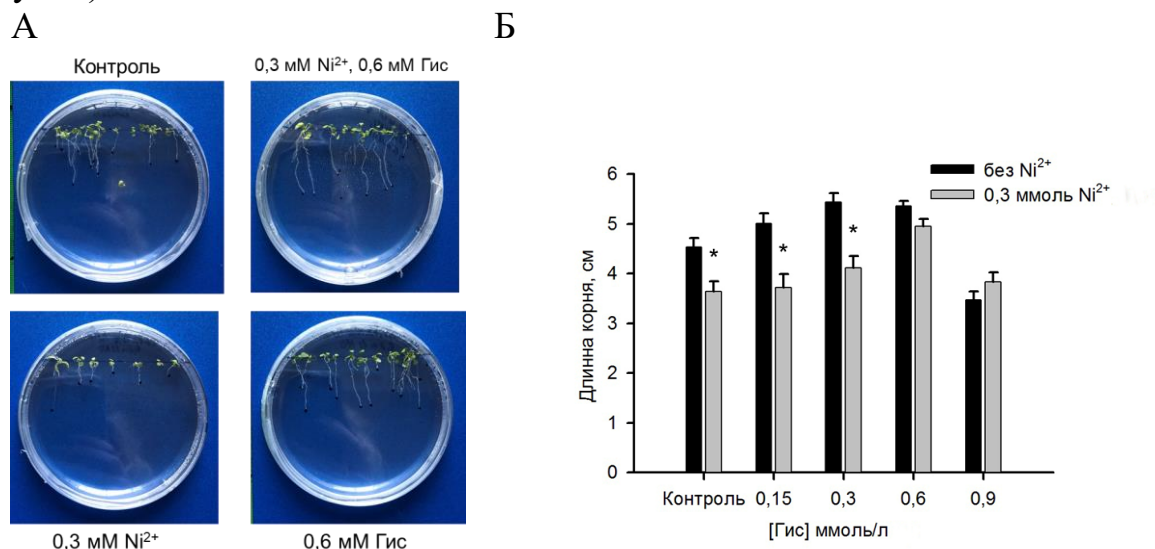


Рис. Изменения роста корней *Arabidopsis thaliana* при различных концентрациях никеля и никеля с гистидином: А – фотографии 7-дневных проростков; Б – прирост длины основного корня ($X \pm SE$, $n=30$). Достоверность различий рассчитывалась по отношению к длине корня на безникелевой среде: * – $p \leq 0,05$

Нокаутные мутанты по НАДФН-оксидазам D и F продемонстрировали схожую реакцию с диким типом. Растения *rbohC*, лишённые НАДФН-оксидазы C, были менее чувствительны к никелю: в тестах с заменой среды ингибирование удлинения корня начиналось только с 10 ммоль/л Ni^{2+} . Следовательно, генерация АФК с вовлечением комплекса НАДФН-оксидазы C, является важным компонентом при развитии окислительного стресса на фоне повышенных уровней никеля. Следует отметить, что добавление Гис не оказывало влияние на изменение скорости роста корня при выращивании растений на среде с никелем. Вероятно, протекторная роль данной аминокислоты заключается не только в физическом устранении Ni^{2+} путем хелатирования, но и в индукции АФК-зависимой сигнализации, запускающей реакции адаптации.

Тесты с флуоресцентным зондом ДГЭ показали, что обработка 3 ммоль/л Ni^{2+} не стимулировала сильного накопления АФК в корнях арабидопсиса в зоне всасывания. Выдерживание в растворе 6 ммоль/л Гис также не оказывало существенного влияния на синтез АФК. Совместная обработка Ni-Гис индуцировала сильную выработку АФК, интенсивность

флуоресценции ДГЭ возрастала на 50 % в зоне всасывания и на 75 % в зоне деления по сравнению с контролем. Линия *rbohC* не демонстрировала накопления АФК при обработке Ni-Гис ни в зрелой зоне, ни в кончиках корня. Нокауты по *RbohD* также были менее чувствительны к обработке Ni-Гис: увеличение флуоресценции ДГЭ наблюдалось только в зоне кончика корня (на 40% по сравнению с контролем). Нокауты по *RbohF* демонстрировали чувствительность к обработке Ni-Гис в зоне всасывания (увеличение флуоресценции ДГЭ на 40%), в то время как, в кончиках корня флуоресценция ДГЭ была на уровне контроля.

Таким образом, было показано: 1) При введении Ni²⁺-содержащих смесей в среду выращивания ингибируется прорастание и рост главного корня *A. thaliana*: у дикого типа начиная с концентрации 3 ммоль/л, у нокаутов *rbohD* и *rbohF* – с 1 ммоль/л, *rbohC* – с 10 ммоль/л; 2) Гис в соотношении 2 Гис / 1 Ni²⁺ снижает токсическое действие Ni²⁺ на рост корня; 3) Свободный Ni²⁺ не вызывает значительного изменения в уровне АФК в корне арабидопсиса, в то время как при совместном введении Ni²⁺ и Гис активируются редокс свойства Ni²⁺ и индуцируется синтез АФК; 4) Зона деления более чувствительна к данному воздействию, чем зона всасывания, что может свидетельствовать роли АФК в качестве ключевых регуляторов активности меристем. Изменение содержания АФК в кончике корня определяет направление и скорость роста корня, что имеет важное значение при воздействии стрессоров; 5) Индуцированная Ni-Гис генерация АФК в корнях линий арабидопсиса, лишенных НАДФН-оксидаз, была на меньшем уровне, чем в диком типе, что свидетельствует о вовлечении данных систем в ответе растений на никелевый стресс.

Библиографические ссылки

1. Occurrence, physiological responses and toxicity of nickel in plants / T.V.M. Sreekanth [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2013. – Vol. 10. – P. 1129–1140.
2. Halliwell B. & Gutteridge J.M.C. Free radicals in biology and medicine / B. Halliwell, J.M.C. Gutteridge – Oxford, UK: OUP, 1999. – 936 p.
3. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel / U. Krämer [et al.] // Nature. – 1996. – Vol. 379, № 6566. – P. 635–638.
4. Kaur G., Pati P.K. In silico physicochemical characterization and topology analysis of Respiratory burst oxidase homolog (Rboh) proteins from Arabidopsis and rice / G. Kaur, P.K. Pati // Bioinformation. – 2018. – Т. 14, № 03. – С. 93–100.
5. Comparative analysis of the reactive oxygen species-producing enzymatic activity of Arabidopsis NADPH oxidases / H. Kaya [et al.] // Plant J. – 2019. – Vol. 98, № 2. – P. 291–300.

МЕХАНИЗМЫ ЗАПРОГРАММИРОВАННОЙ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Д.А. Мазурова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

v.mackievic@gmail.com;

науч. рук. - В.С. Мацкевич

Запрограммированная клеточная гибель (ЗКГ) является важным физиологическим процессом у эукариот. Она играет фундаментальную роль в развитии растений, а также в их реакциях на биотический и абиотический стрессы. Процесс ЗКГ в клетках растений изучен в меньшей степени, чем апоптоз у животных. В частности, остаётся не понятным механизм индукции ЗКГ в клетках корня в ответ на абиотические стресс-факторы. Поэтому, целью настоящей работы было выявить особенности развития симптомов ЗКГ, индуцированной НО^{\bullet} , в клетках корня арабидопсиса.

Ключевые слова: запрограммированная клеточная гибель; НАДФН-оксидаза; АФК; гидроксильный радикал; окислительный стресс; корень; арабидопсис.

ВВЕДЕНИЕ

Запрограммированная клеточная гибель (ЗКГ) играет важную роль в процессах роста и развития растений, а также участвует в ответе растительной клетки на широкий спектр стресс-факторов [1]. Реализация ЗКГ сопровождается изменениями морфологии клетки, модификацией структуры ядра и цитоплазмы, конденсацией хроматина, повреждением мембран [2]. Также наблюдается активация каспазоподобных протеаз, фитоспаз, эндонуклеаз и ДНК-ладдеринг [2, 3]. Особую роль в ЗКГ играют активные формы кислорода (АФК), образующиеся в результате одноэлектронного восстановления O_2 до $\text{O}_2^{\bullet-}$ и его дальнейших превращений. Усиленное образование АФК является одной из универсальных стрессовых реакций растительных клеток. АФК представляют серьезную угрозу для организма за счёт подавления активности ферментов, мутаций, деградации биополимеров и изменений мембранной проницаемости [3]. Окислительное повреждение плазмалеммы приводит к утечке электролитов и гибели клетки. Понимание механизма ЗКГ необходимо для повышения стрессоустойчивости сельскохозяйственных сортов.

Целью настоящей работы было выявить особенности развития симптомов ЗКГ, индуцированной НО^{\bullet} , в клетках корня арабидопсиса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были использованы корни *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Семена арабидопсиса обрабатывались 15 мин 20 % раствором «Domestos» и промывались стерильной водой 7 раз. Для культивирования использовалась 100 % среда Мурашиги и Скуга, с добавлением 1 % сахарозы, 0,35 % фитогеля (рН 6,0). Семена высаживались на поверхность среды в чашках Петри при помощи стерильных зубочисток, приблизительно 1,5 см от края чашки и 1 см друг от друга, по 10-15 семян в ряду. Чашки с высаженными семенами выдерживались 2 сут при 4°C в темноте. Затем они помещались в стерильный ростовой кабинет с контролируруемыми условиями освещения (16 ч света и 8 ч темноты) и температуры (22°C), где выращивались в течение 7 сут. Анализ жизнеспособности клеток корня при обработке смесями, генерирующими гидроксильные радикалы, проводился с помощью флуоресцентного красителя йодида пропидия (PI). Сначала растения обрабатывались стресс-растворами в течение 15 ч, затем помещались в 10 мг/мл PI на 10 мин. После окрашивания проростки промывались 3 раза в буферном растворе (ммоль/л): 0,1 KCl, 0,1 CaCl₂, 1 Tris/ 2 Mes рН 6. Регистрирование флуоресценции PI проводилось при помощи микроскопа Nikon Eclipse TS100 ($\lambda_{ex} = 488$ нм; $\lambda_{em} = 561$ нм). Анализ фотографий проводился в приложении ImageJ. Регистрация каспазоподобной активности при помощи CaspACE-FITC-VAD-fmk *in situ* marker. Проростки арабидопсиса выдерживались в течение 15 ч в 250 мкл тест-раствора, содержащего 10 мкмоль/л зонда. Затем корни тщательно промывались в течение 15 мин в буферном растворе и анализировались с помощью флуоресцентного микроскопа Nikon Eclipse TS100 ($\lambda_{ex} = 490$ нм; $\lambda_{em} = 540$ нм). Фотографии анализировались в программе ImageJ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для проверки жизнеспособности анализировалась интенсивность красной флуоресценции PI в клетка корня арабидопсиса (рисунок 1). При обработке растворами HO[•] (смесь Cu/a: 1 ммоль/л CuCl₂, 1 ммоль/л L-аскорбат, 1 ммоль/л H₂O₂) на протяжении 15 ч наблюдалось увеличение флуоресценции PI в зрелой зоне корня на 20 % по сравнению с контролем, что свидетельствует о повреждении мембран и снижении жизнеспособности клеток. Ингибитор НАДФН-оксидаз (дифенилениодония хлорид, DPI) в концентрации 1 мкмоль/л не имел эффекта на жизнеспособность клеток корня. Введение DPI совместно со стрессором снижало токсический эффект Cu/a. В зоне деления эффект HO[•] был ещё более заметен. Из

гистограммы на рисунке 1Б видно, что при обработке Cu/a наблюдалось увеличение флуоресценции PI в кончиках корня *Arabidopsis thaliana* L. на 80 %. Введение DPI полностью нивелировало индукцию окислительных повреждений смесями, генерирующими HO[•].

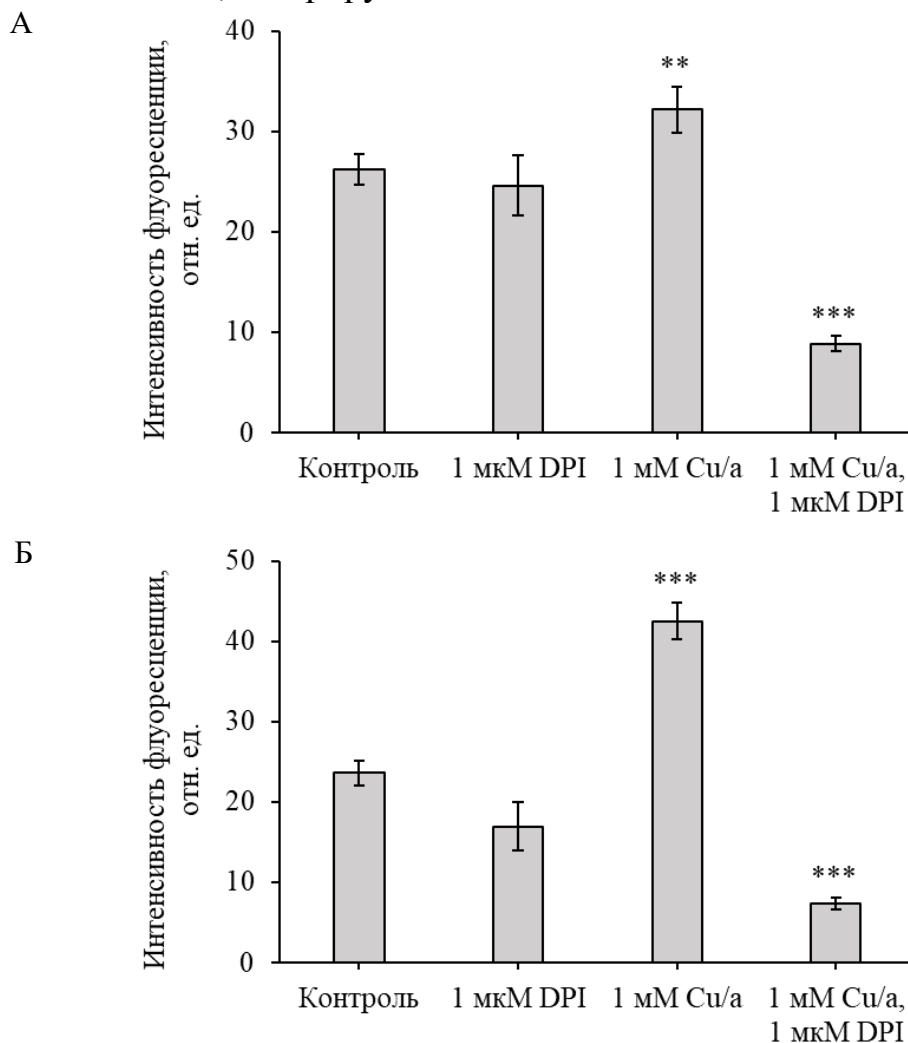


Рис. 1. Изменение жизнеспособности клеток корня арабидопсиса смесями, генерирующими гидроксильные радикалы (Cu/a): А – интенсивность флуоресценции PI в зрелой зоне корня ($X \pm Sx$; $n=20$); Б – интенсивность флуоресценции PI в кончиках корня. Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю:

** - $p < 0,001$, *** - $p < 0,0001$

Оценка активности каспазоподобных протеаз была произведена при помощи CaspACE-FITC-VAD-fmk *in situ* marker kit (рисунок 2). При инкубировании корней арабидопсиса в буфере с CaspACE-FITC-VAD-fmk, как и при обработке DPI, существенного накопления зелёной флуоресценции в корнях арабидопсиса не наблюдалось. При экспонировании корней в Cu/a регистрировался прирост флуоресценции FITC-VAD-fmk в зрелой зоне корня и в зоне деления примерно в 2,3 и 2,0 раза, соответственно.

Совместная обработка Cu/a с DPI снижала гидроксил-индуцированную флуоресценцию (интенсивность свечения FITC-VAD-fmk была лишь на 25 % выше контроля). Следовательно, ингибирование НАДФН-оксидаз при окислительном стрессе снижает активацию каспазоподобных протеаз и уменьшает повреждение мембран (увеличивает общую жизнеспособность клеток).

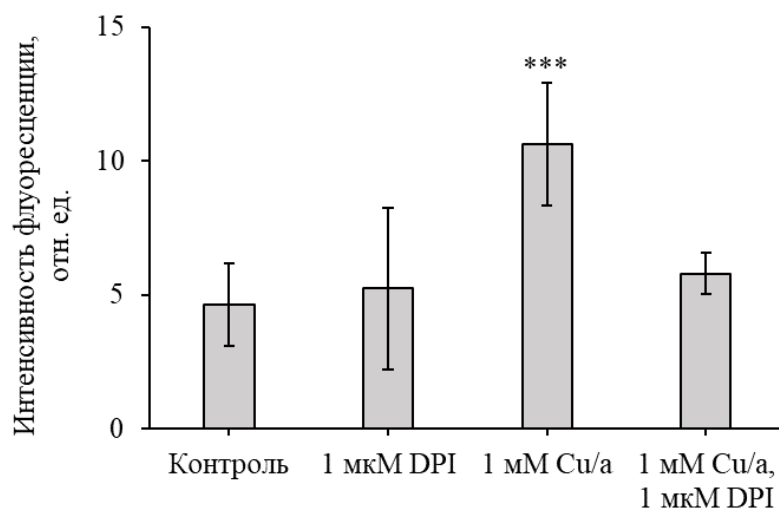


Рис. 2. Интенсивность флуоресценции FITC-VAD-fmk в зрелой зоне корней *Arabidopsis thaliana* L. ($X \pm Sx$; n = 40). Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю: *** - $p < 0,0001$

Таким образом, нами было показано: 1) Обработка растений гидроксильными радикалами нарушает целостность мембран и снижает общую жизнеспособность клеток корня. Зона деления более чувствительна по сравнению со зрелой зоной (зона всасывания). 2) Гидроксильные радикалы вызывают активацию каспазоподобных протеаз как в зоне деления, так и в зоне всасывания. 3) При ведении ингибитора НАДФН-оксидаз (DPI) совместно со смесями, генерирующими гидроксильные радикалы, наблюдается снижение токсического эффекта, о чем свидетельствует повышение жизнеспособности клеток корня и более низкий уровень активности протеаз ЗКГ. Следовательно, НАДФН-оксидазы играют ключевую роль в механизме индукции ЗКГ при окислительном стрессе.

Библиографические ссылки

1. Выявление особенностей NaCl-индуцированной модификации ростовых процессов и индукции запрограммированной клеточной гибели в корне подсолнечника / В.С. Мацкевич и др. // Журнал БГУ. Биология. – 2019. – Т. 3. – С. 13-20.
2. Фомичева, А.С. Программированная клеточная смерть у растений / А.С. Фомичева, А.И. Тужиков // Успехи биологической химии. – 2012. – Т. 52. – С. 97-126.
3. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K^+ -permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment / Demidchik [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2015. – Vol. 65, № 5. – P. 1259-1270.

ВЫДЕЛЕНИЕ, ОЧИСТКА И РЕФОЛДИНГ НА МАТРИЦЕ Ni-СЕФАРОЗЫ РЕКОМБИНАНТНОГО ЭФРИНА-A5

П.С. Маковская

Белорусский государственный университет, г. Минск;

polianka98@mail.ru

науч. рук. – М.В. Шолух, канд. биол. наук, доц

Erp-рецепторы и их белковые лиганды–эфрины (erpin) играют важную роль в физиологических и патофизиологических процессах, таких как эмбриональное развитие, ангиогенез, канцерогенез, болезнь Альцгеймера и других заболеваниях [1]. В связи с этим белки эфринной системы рассматриваются как мишени для новых фармакологических препаратов и как важнейший инструмент для разработки средств иммунохимической и гистологической диагностики. Одним из методических подходов, позволяющих получить целевой продукт в заданных количествах, является его бактериальная экспрессия [2].

Проведено выделение рекомбинантного эфрина-A5 из телец включения (ТВ) *E.coli*. Двукратной отмывкой ТВ 50 ммоль/л Трисом и 50 ммоль/л NaCl удалено до 35 % примесей (по массе), включая посторонние белки и нуклеиновые кислоты. С помощью металл-хелатной хроматографии на Ni-сефарозе проведены дополнительная очистка целевого продукта от белков и нуклеиновых кислот и собственно процесс рефолдинга эфрина-A5 с выходом $8,35 \pm 0,1$ % и чистотой 85 %.

Целью работы являлось выделение, очистка и рефолдинг на матрице Ni-сефарозы рекомбинантного эфрина-A5 из телец включения *E.coli*.

Ключевые слова: эфрин-A5; рекомбинантные белки; тельца включения; рефолдинг белков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы тельца включения (ТВ), содержащие рекомбинантный эфрин-A5, которые были любезно предоставлены сотрудниками НИЛ “Биотехнологии” биологического факультета БГУ. Все ТВ хранили при -20°C .

Отмывка телец включения. ТВ отмывали в буфере 50 ммоль/л Трис и 50 ммоль/л NaCl в соотношении 1:10 (на 1 г телец 10 мл раствора) [3].

Солюбилизация. Солюбилизацию ТВ проводили в буфере А pH = 8-8,5: 50 ммоль/л Трис; 8 моль/л мочевины; 0,5 моль/л NaCl; 5 ммоль/л имидазол; 5 ммоль/л β-меркаптоэтанол. Солюбилизация в соотношении 1:25 (на 1 г отмытых ТВ 25 мл раствора) [4].

Рефолдинг на матрице Ni-sepharose. Рефолдинг проводили на колонке с Ni-sepharose объемом 2,9 мл предварительно уравновесив её буфером А pH=8-8,5: 50 ммоль/л Трис; 8 моль/л мочевины; 0,5 моль/л NaCl; 5 ммоль/л имидазол; 5 ммоль/л β-меркаптоэтанол. После уравновешивания на колонку наносили образец (солюбилизат) и собирали проскок, затем проводили промывку тем же буфером. Далее охлажденный до 12°C рефолдинг

буфер (рН=8, 20ммоль/л Трис;50 ммоль/л NaCl; 2,5 ммоль/л DTT; 50 ммоль/л сахараза) V=15 мл наносили на колонку и оставляли на 24 ч. Затем проводили промывку 9 мл буфером А2 рН=8-8,5 (Трис 20 ммоль/л, NaCl 150 ммоль/л, Имидазол 20 ммоль/л). Элюцию белка проводили буфером В3: буфер А2 + 1 моль/л имидазол [5].

Определение количества белка. Количество белка на всех стадиях определяли методом Лоури в модификации Петерсона [6].

SDS-электрофорез в полиакриламидном геле. Чистота белковых фракций была оценена методом SDS-электрофореза в 12,5 % полиакриламидном геле по стандартной методике [7]. Гель окрашивали красителем ку-масси ярко-синим R-250 (СВВ R-250).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ТВ помимо целевого продукта содержат небольшое количество нуклеиновых кислот, белков, хромофорных соединений. Вышеперечисленные примеси могут значительно влиять на рефолдинг целевого продукта [8]. Отмывка же позволяет избавиться от основного количества связанных с ТВ примесей.

После двухкратной отмывки общая масса ТВ снизилась на 35 % за счет примесей, от которых удалось избавиться.

В связи с тем, что компоненты телец включения удерживаются вместе в основном гидрофобными и электростатическими взаимодействиями, дисульфидными и водородными связями, в солубилизирующий буфер вносили соединение, обеспечивающее восстанавливающие условия, – 5 ммоль/л β-меркаптоэтанол, а также соединение, снижающее эффективность гидрофобных взаимодействий, – 8 моль/л мочевины.

Наличие в структуре молекулы рекомбинантного эфрина-А5 poly-His Tag фрагмента предоставляет возможность очистки и рефолдинга целевого белка эфрина-А5 с помощью хроматографии на Ni-сефарозе.

Эффективная стратегия, предотвращающая агрегацию, состоит в том, чтобы минимизировать риск межмолекулярных взаимодействий путем связывания денатурированных белковых молекул с афинным лигандом (Ni) на твердой подложке, таким образом, эффективно отделяя белковые молекулы друг от друга вовремя рефолдинга.

На колонку объемом 2,9 мл наносили 18 мл солубилизата ТВ. Объем элюции целевого продукта составил 15 мл. Чистота собранного эфрина-А5 прошедшего этап колоночной хроматографии по данным SDS-электрофореза в ПААГ (рис. 1) составила 85%, а выход собственно процесса рефолдинга – $8,35 \pm 0,1$ %. Общий выход целевого продукта составил 90 мг на 10 г сырых ТВ.

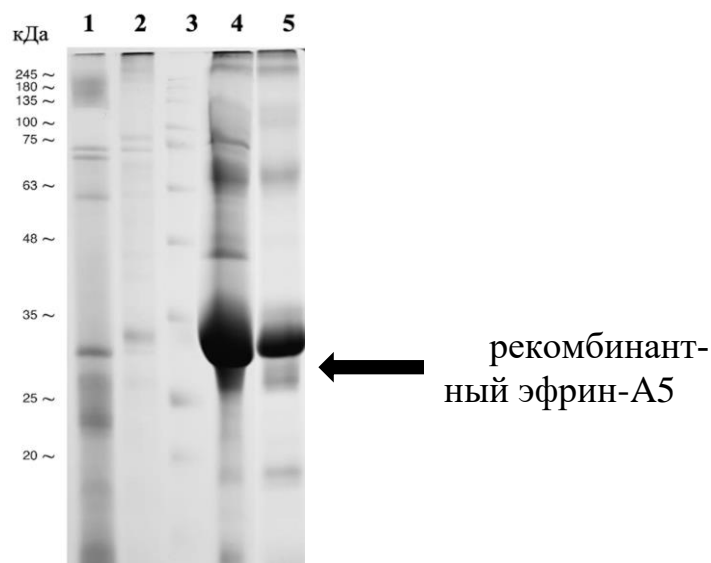


Рис. 1 – Постадийный контроль выделения эфрина А5 из ТВ методом SDS-электрофореза в 12,5 % полиакриламидном геле
 1 – отмывка ТВ № 1; 2 – отмывка ТВ № 2; 3 – маркеры молекулярного веса;
 4 – солюбилизиат; 5 – рефолдированный эфрин-А5 на матрице Ni-сефарозы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Результаты выполненной работы свидетельствуют о том, что использованная схема позволяет с высокой скоростью провести выделение рекомбинантного эфрина-А5 из ТВ благодаря объединению процессов очистки целевого продукта и его рефолдинга в одну стадию.

Библиографические ссылки

1. *Kania A., Klein R.* Mechanisms of ephrin-Eph signalling in development, physiology and disease // *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2016. Vol. 17. P. 240-256. DOI: 10.1038/nrm.2015.16.
2. *Misawa S., Kumagai I.* Refolding of therapeutic proteins produced in *Escherichia coli* as inclusion bodies // *Peptide Science.* 1999. Vol. 51. P. 297-307. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0282(1999)51:4<297::AID-BIP5>3.0.CO;2-I.
3. *Clark E.* Refolding of recombinant proteins // *Current Opinion in Biotechnology.* 1998. Vol. 9. P. 157-163. DOI: 10.1016/s0958-1669(98)80109-2.
4. *Thatcher D. R., Wilks P., Chaudhuri J.B.* Inclusion bodies and refolding // *Proteins Lab-fax*, BIOS Scientific, Oxford. 1996. P. 119-130.
5. *Berdichevsky Y.* Matrix-assisted refolding of single-chain Fv–cellulose binding domain fusion proteins // *Protein expression and purification.* 1999. Vol. 17., n. 2. P. 249-259. DOI: 10.1006/prev.1999.1125.
6. *Peterson G. L.* Determination of total protein // *Methods Enzymol.* 1983. Vol. 91. P. 95-119. DOI: 10.1016/s0076-6879(83)91014-5.
7. *Walker J. M.* The protein protocols Handbook. N. J., 2002.
8. *Guise A. D., West S. M., Chaudhuri J. B.* Protein folding in vivo and renaturation of recombinant proteins from inclusion bodies // *Rev. Mol. Biotechnol.* 1996. Vol. 6. P. 53-64. DOI: 10.1007/BF02762323.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОНА И ФИТОПЕРИФИТОНА, А ТАКЖЕ УРОВНЯ ТРОФНОСТИ КАРЬЕРНЫХ ВОДОЁМОВ ГРОДНЕНСКОГО МЕЛОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.Г. Мельничек, А.Ю.Карпаева

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
a_melnichек@mail.ru; karpaevanastya1@gmail.com
науч. рук. – Т.А. Макаревич, канд. биол. наук, доц.*

Представлены результаты изучения видового состава и анализа структуры фитоперифитона и фитопланктона меловых карьеров выработанных месторождений мела в г. Гродно (Беларусь). Выявлено 90 видов водорослей в фитоперифитоне, и 40 видов водорослей в фитопланктоне карьерных водоемов. 21 вид для двух экологических группировок является общим. Установлено значительное соответствие видового состава водорослей двух карьерных водоёмов. Для данных карьерных водоемов характерен мезотрофный тип развития. Видовое разнообразие соответствует типичным водоемам и водотокам Беларуси. Подавляющее число видов являются космополитами с широкой экологической валентностью.

Ключевые слова: фитопланктон; фитоперифитон; карьерные водоемы; видовой состав; численность; биомасса.

На территории Республики Беларусь насчитывается около трехсот отработанных меловых карьеров. Лимнологические исследования этих водных объектов начаты в 80-е годы прошлого века [1]. Однако с гидробиологической позиции они изучены крайне слабо. В частности, по фитопланктону имеются лишь единичные публикации [1;2;3].

Фитопланктон является одним из важных компонентов водных биоценозов. Как правило, он играет основную роль в образовании органического вещества в водоемах озерного типа. Фитопланктону принадлежит ключевое место в системе оценки экологического состояния водных объектов, поскольку он находится в основании трофической пирамиды и первый принимает на себя оказываемое воздействие. Уровень количественного развития фитопланктона может указывать на уровень сукцессии водных объектов. [5].

Перифитон также является одним из важных компонентов пресноводных экосистем. От него зависит продуктивность и состояние экосистем, также он позволяет судить о качестве исследуемых вод [4].

Кроме того, перифитон очень удобен для исследований. Среди плюсов изучения перифитона, необходимо выделить, то что прикрепленные сообщества свободны от кратковременного влияния случайных локальных изменений гидрологического и гидрохимического режима и отражают средний фон, преобладающий в данном водоеме.

Однако, несмотря на то, что перифитон очень важный компонент всех экосистем, он все равно ещё недостаточно изучен. Первые исследования фитоперифитона проводились в июле 2012 г. на шести меловых карьерах разного «возраста» [2;3]. Это были первые исследования на территории Беларуси в области изучения продуктивности и развития перифитона в меловых карьерах, проведенные Макаревич Т.А., Савич И.В., и Хижняк А.С. [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе исследовались фитопланктон и фитоперифитон двух карьерных водоемов Гродненского мелового месторождения – Центральный и Южный.

Данные карьерные водоемы находятся в окрестностях г. Гродно на расстоянии примерно 180 м друг от друга. Карьер Южный затоплен в 1976 г., а Центральный в 1989 г. Водоемы имеют схожие морфометрические характеристики. Площадь водного зеркала около 20 га, максимальная глубина достигает 35 м, характерны крутые береговые склоны.

Пробы планктонных организмов отобраны 09.07.2020 года, на 4 станциях в карьере Южный и 2 станциях в карьере Центральный. А, в свою очередь перифитонных организмов – 09.07.2020 года, на 3 станциях в карьере Южный и 1 станции в карьере Центральный.

Фитопланктон отбирали на расстоянии 2–3 метра от берега с глубины от 0,5 до 1,60 м в зависимости от глубины станции. Фиксировали пробы раствором Утермеля. Концентрировали фитопланктон методом отстаивания от начального объема 0,5 л. Плотность (численность) фитопланктона определяли счетным методом в камере Фукс-Розенталя. Биомассу водорослей рассчитывали методом «истинного объема» (=геометрического подобия).

Для сбора перифитонных организмов были извлечены растущие вдоль береговых линий карьеров доминирующие макрофиты: Рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.), Элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.), Рогоз узколистый (*Typha angustifolia* L.). Рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.). С каждого отдельного субстрата перифитон помещали в склянки с карьерной водой и были зафиксированы с помощью фиксатора Утермеля. Для установления видовой принадлежности диатомовых водорослей готовили постоянные препараты по общепринятой методике Жузе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В составе фитопланктона и фитоперифитоникарьерных водоемов выявлено 40 и 90 видов водорослей соответственно, которые представлены 7 отделами водорослей. Для перифитона видовое богатство по отделам распределилось следующим образом: Bacillariophyta – 44%; Chlorophyta – 30%. В фитопланктоне доминирующую позицию занимает отдел Chryso-phyta – 35%, за ним Bacillariophyta – 30% и Chlorophyta – 23%.

Величина индекса Жаккара составила 20 %. Это указывает на то, что между альгофлорой перифитона и планктона меловых карьеров присутствует малое соответствие.

Как видно из таблицы приведенной ниже, видовое богатство фитоперифитона значительно превышает видовое богатство фитопланктона. Уменьшение сходства видового состава этих сообществ, свидетельствует об усилении роли факторов среды.

Таблица

Данные о количестве видов в фитопланктоне и фитоперифитоне меловых карьеров

Количество видов в фитоперифитоне	90
Количество видов в фитопланктоне	40
Количество видов, общих для двух сообществ	21

При расчете численности и биомассы фитопланктона были получены следующие результаты: численность в карьере Южный составила 2,0-2,9 млн кл/л (ст. откл. 0,3-0,5 млн кл/л), в Центральном 4,1-4,6 млн кл/л. (ст. откл. 0,7-1,2 млн кл/л).

Биомасса в карьере Южный составила 1,07-1,3 мг/л, (ст. откл. 0,1-0,3), в карьере Центральный 0,66-0,95 мг/л (ст. откл. 0,2-0,3 мг/л.)

Сравнивая полученные данные с показателями трофности водоемов у авторов [8], можно сказать, что карьерный водоем Южный, с биомассой 1,07 – 1,3 соответствует мезотрофному типу водоема. Однако, биомасса карьера Центральный 0,66 – 0,95 мг/л судя по данным таблицы, немного ниже, чем биомасса мезотрофного водоема водоема. Тем не менее данная оценка не может считаться на 100% точной, так как биомасса была определена на пробах, отобранных единожды в летний период и не учитывала особенностей градации биомассы в другие сезоны года, а также не была учтена градация пространственного распределения биомассы по водоему.

Численность фитопланктона карьера Южный составляет и 2,0-2,9 млн.кл/л. И численность карьера Южный – 4,6-4,9 млн. кл/л, судя по данным авторов [7] соответствуют мезотрофному типу водоема.

Большинство водорослей фитоперифитона: *Diatomaanceps*, *Naviculasubcapitata*, *Cosmariumobtusatum*, *Mastogloiaelliptica* и др., также приурочены к мезотрофному типу водоёма.

Библиографические ссылки

1. Хомич С.А. Геоэкологические аспекты водохозяйственной рекультивации нарушенных земель Беларуси. Мн.: Институт геологических наук, 2001. 124 с.
2. Макаревич Т.А., Савич И.В. Фитопланктон и фитоперифитон в разновозрастных карьерных водоемах отработанных меловых месторождений (Беларусь) // Actual problems in modern phycology: V International conference. Moldova. – Chişinău: CEPUSM, 2014. P. 199-204.
3. Макаревич Т.А., Никитина Л.В., Савич И.В., Богданова А.С. К изучению фито- и бактериопланктона карьерных водоемов выработанных меловых месторождений // Актуальные проблемы биоэкологии: мат. Междунар. науч. конф., Минск, 23-25 окт. 2014. Минск: БГУ, 2014. С. 93–94.
4. Makarevich T. A., Savich I. V., Nikitina L. V. The structure of plankton and periphyton communities in quarry reservoirs of different “ages” (Belarus) // Dynamics and functioning of aquatic ecosystems under the impact of climate change and anthropogenic stress. Abstracts of the 5th International Scientific Conference to commemorate famous hydrobiologist G.G. Winberg. – St. Petersburg: Publishing company «LEMA», 2015. P. 156–157.
5. Михеева, Т.М. Альгофлора Беларуси: Разнообразие, продукционные возможности, значимость в экосистемах, изменение в процессе эволюции (обзор) // Вестник БГУ. Сер. 2. 2010. № 2. С. 36–45
6. Баринава, С.С. Биоазнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. ТельАвив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
7. Фрумин, Г.Т. Хуан Ж.-Ж. Вероятностная оценка трофического статуса водных объектов. Методическое пособие. СПб.: РГГМУ, 2012. 28 с.
8. Неверова-Дзиопаке, Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб: ГАСУ, 2020. 176 с.

АНАЛИЗ АВТОФАГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ИНДУЦИРУЕМЫХ ИОНАМИ НИКЕЛЯ, ПРИ ПОМОЩИ ATG8a-mCherry

А.В. Ныч

Белорусский государственный университет, г. Минск;

v.mackievic@gmail.com;

науч. рук. - В.С. Мацкевич

В условиях недостаточного количества питательных веществ автофагическая деградация макромолекул и их повторное использование являются неотъемлемой частью способности растения адаптироваться к окружающей среде. Принципиальной задачей является изучение структуры и функций ключевых автофагических белков, в частности, молекулярного маркера автофагии ATG-8. Также одной из важных экологических проблем современности является загрязнение почв тяжелыми металлами. Избыток Ni^{2+} в почве вызывает торможение или полную остановку роста корневой системы, хлороз и некроз листьев, отмирание репродуктивных органов, нарушение процессов дифференцировки клеток, минерального питания и фотосинтеза. Целью данной работы стало протестировать влияние повышенных уровней никеля в среде на индукцию автофагии в клетках корня арабидопсиса при помощи ATG8a-mCherry.

Ключевые слова: автофагия; никель; гистидин; флуоресцентная микроскопия; пропидиум йодид; корень; арабидопсис; ATG8a-mCherry.

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от животных, растения являются неподвижными организмами, которые вынуждены переносить переменные и суровые условия окружающей среды. Для обеспечения выживания в таких условиях растительные организмы имеют ряд механизмов, одним из которых является автофагия – процесс утилизации избыточных или поврежденных белков, белковых комплексов и клеточных органелл, осуществляемый самой же клеткой [3]. Автофагия играет двоякую роль: с одной стороны, она направлена на выживание клетки, с другой – служит частью процесса клеточной гибели. Автофагия в растениях недостаточно хорошо изучена, однако имеющиеся научные сведения свидетельствуют о важности этого процесса в жизни растений. Целью настоящей работы стало протестировать влияние повышенных уровней никеля в среде на индукцию автофагии в клетках корня арабидопсиса при помощи ATG8a-mCherry. В последнее время ученые сходятся во мнении, что токсичность избытка Ni^{2+} для растений обусловлена его высокоспецифичным связыванием с рядом внутриклеточных лигандов, а также индукцией окислительного стресса вследствие гиперпродукции активных форм кислорода (АФК) [2, 4]. Тем не менее, Ni^{2+} не обладает редокс-активностью, т. е. напрямую не может катализировать Фентон-подобные реакции, генерирующие гидроксильный радикал. Известно, что растения в ответ на никелевый стресс синтезируют

аминокислоту гистидин (Гис), которая может формировать редокс-активные комплексы данного металла (Ni-Гис и Ni-Гис₂) [2]. Синтез Гис, приводящий к устранению избытка свободной формы никеля, является важной эволюционной стратегией выживания на фоне повышенных уровней Ni²⁺ в среде. Однако, по ряду оценок, Ni-Гис комплексы могут обладать большей токсичностью, отличаясь от свободных ионов никеля высокой способностью катализировать генерацию АФК [1]. Соответственно, возникает вопрос о токсичности Ni-Гис для растений, а также о роли генерации АФК при Ni-стрессе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись растения *Arabidopsis thaliana*, у которых экспрессируется меченый mCherry белок ATG8a. Арабидопсис выращивался в стерильной вертикальной культуре в чашках Петри на полной среде Мурасиге и Скуга (МС), рН 6,0, 1 % сахара, 0,35 % Phytigel, в контролируемых условиях 22°C, 16 ч свет / 8 ч темнота. Для проведения ростовых тестов растения культивировались на среде МС в течение 5 сут. Затем для индукции автофагии проростки перемещались на новые среды: 1) полноценная МС (контроль); 2) 10 % МС; 3) полноценная МС без сахара. Для индукции Ni-стресса растения переносились на среды, содержащие: 1) 1 мМ Ni; 2) 1 мМ Ni, 2 мМ Гис. Регистрация симптомов автофагии производилась на 5 сут после переноса. Для тестирования острого действия сублетальных и летальных уровней Ni 7–10 дневные растения помещались в растворы Ni и Ni-Гис на 15 ч. Контролем выступал буферный раствор (мМ): 0,1 KCl, 0,1 CaCl₂, 1 Трис / 2 Мес, рН 6,0. Затем растения окрашивались PI (10 мкг/мл) в течение 10 мин, после чего корни промывались 3 раза в буфере и анализировались при помощи инвертированного флуоресцентного микроскопа Nikon Eclipse TS100F при $\lambda_{ex}=470$ нм; $\lambda_{em}=680$ нм. Интенсивность флуоресценции в корнях арабидопсиса определялась в приложении ImageJ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве тест-системы для регистрации автофагии был выбран дефицит сахара. Нами были опробованы различные варианты ростовых техник: тест на прорастание, замена среды и перенос растений. В первом варианте отсутствие сахара практически полностью останавливало прорастание семян. Во втором случае изымалась лишь 2/3 среды, следовательно, уровень сахара не был критически малым и значительное торможение роста либо другие негативные симптомы дефицита питательных веществ не регистрировались при культивировании в течение 5 сут. Та-

ким образом, оптимальным вариантом представлялся эксперимент с использованием техники переноса среды. Перенос растений арабидопсиса на контрольную среду (100 % МС) или среду с уменьшенным количеством минеральных веществ (10 % МС) не индуцировал увеличение красной флуоресценции ATG8a-mCherry (рисунок 1). Перенос проростков на МС без сахарозы увеличивал флуоресценции ATG8a-mCherry в кончиках корней на 50 %, в зрелой зоне на 80–90 %, что свидетельствует об индукции автофагии. Таким образом, для получения энергии в отсутствие источника углеводов, запускалась реакция деградации внутриклеточных молекул, в особенности в старых клетках.

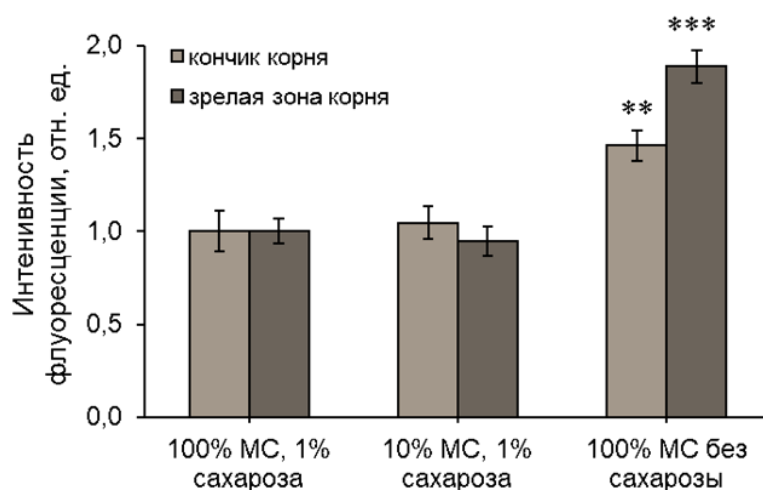


Рис. 1. Индукция автофагии в корнях арабидопсиса при сахарозном голодании: средние значения интенсивности флуоресценции ATG8a-mCherry ($X \pm SE$, $n=5-17$). Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю при помощи ANOVA-теста: ** – $p \leq 0,01$ и *** – $p \leq 0,001$

Выращивание растений на никелевой среде не вызывало значительного изменения в флуоресценции ATG8a-mCherry (рисунок 2). Введение Гис совместно с Ni в соотношении 1:2 индуцировало увеличение флуоресценции mCherry в зоне кончика корня на 20 %, в то время как в зрелой зоне флуоресценция была на уровне контроля. Вероятно, взаимодействие Ni с Гис играет важную роль в запуске автофагии. В комплексе никель приобретает редокс-активность и катализирует синтез АФК, которые могут служить сигналом для индукции автофагических реакций.

Также нами была протестирована общая жизнеспособность клеток корня арабидопсиса при 15-часовом воздействии смесей Ni и Ni-Гис при помощи PI. Было выявлено, что обработка растений летальными концентрациями Ni вызывала 30 % прирост флуоресценции PI в кончиках корня и 20 % – в зрелой зоне. Добавление Гис не оказывало достоверно значи-

мых изменений жизнеспособности клеток. Введение Гис совместно с никелем снижало токсичность металла, свечение PI было на уровне контроля. Таким образом, Гис оказывал протекторное действие.

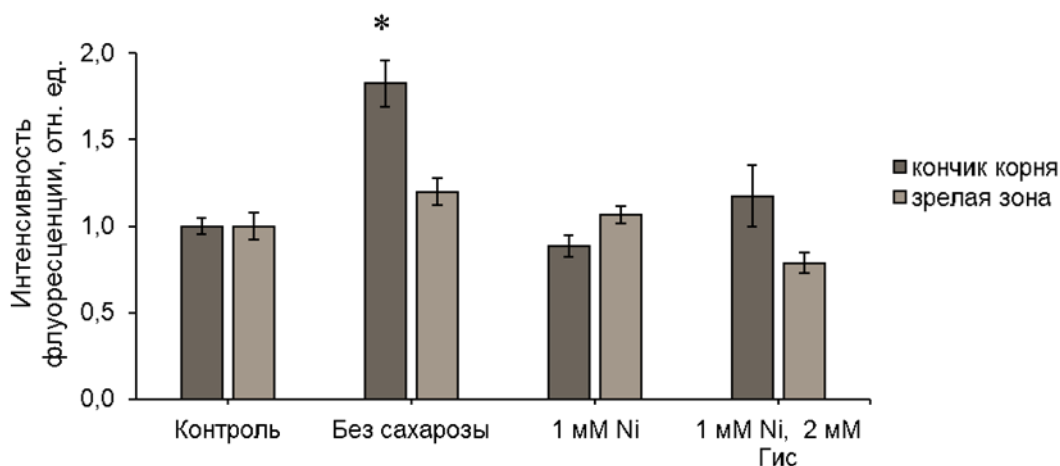


Рис. 2. Флуоресценции ATG8a-mCherry в контрольных условиях и при выращивании на средах, содержащих Ni^{2+} и Ni-гистидиновые комплексы: средние значения интенсивности флуоресценции ATG8a-mCherry ($X \pm SE$, $n=8-16$). Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю: * – $p \leq 0,05$

В результате нами было показано: 1) при помощи ATG8a-mCherry можно детектировать индукцию автофагии в клетках растений; 2) при сахарозном голодании наблюдается индукция автофагии в кончиках корня и в зрелой зоне корня; 3) 1 mM Ni не оказывает влияния на индукцию автофагии, а комплекс Ni-Гис увеличивает автофагию в кончиках корней. Вероятно, взаимодействие никеля с Гис играет важную роль в распознавании никелевого стресса: в комплексе с Гис никель приобретает редокс-активность и способен катализировать продукцию АФК, которые могут служить сигналом для индукции автофагических реакций; 4) летальные уровни Ni значительно снижают общую жизнеспособность клеток корня, введение Гис совместно с никелем нивелирует токсичность металла. Таким образом, Гис оказывает протекторное действие.

Библиографические ссылки

1. Demidchik, V. Reactive oxygen species and oxidative stress in plants / V. Demidchik. – In: Plant stress physiology. 2nd edition. S. Shabala (ed.), 2012. – P. 24–58.
2. Occurrence, physiological responses and toxicity of nickel in plants / T.V.M. Sreekanth [et al.] // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2013. – Vol. 10, № 5. – P. 1129–1140.
3. Senescence and death of plant organs: nutrient recycling and developmental regulation / A. Guiboileau [et al.] // C. R. Biol. – 2010. – Vol. 333, № 4. – P. 382–391.
4. The role of ion disequilibrium in induction of root cell death and autophagy by environmental stresses / V. Demidchik [et al.] // Functional plant biology. – 2017. – Vol. 45, № 1. – P. 28–46.

3-D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР ДАГФ-СИНТАЗ ТИПОВ БАКТЕРИЙ *PSEUDOMONASCHLORORAPHISSUBSP.AURANTIACA*

К.А. Осипик, А.Ю. Бобарикина

Белорусский государственный университет, г. Минск;

osipik.karyna@tut.by;

науч. рук. – Е.Г. Веремеенко, канд. биол. наук, доц.

Для четырех изоформ ДАГФ-синтаз феназин-продуцирующей бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca*, штамм В-162 были построены трехмерные структуры с использованием моделирования по гомологии по алгоритмам I-TASSER и определены потенциальные молекулы-регуляторы при помощи программного пакета AutoDock Vina. Было установлено, что наиболее вероятными молекулами-регуляторами ДАГФс Ia_1 являются аминокислоты L-тирозин и L-фенилаланин, ДАГФс Ia_2 – L-тирозин, ДАГФс II_2 – L-триптофан.

Ключевые слова: моделирование по гомологии; молекулярный докинг; ДАГФ-синтазы; феназины.

ДАГФ-синтаза, или 3-дезоксид-арабино-гептулозонат-7-фосфат синтаза – фермент, катализирующий первую реакцию шикиматного пути – конденсацию фосфоенолпирувата и D-эритрозо-4-фосфата. Данная реакция признана ключевой в регуляции шикиматного пути. В свою очередь, шикиматный путь – это метаболический путь, состоящий из 7 последовательных реакций и ведущий к образованию важнейших ароматических метаболитов микроорганизмов, растений и некоторых простейших. Среди синтезируемых метаболитов представлены как первичные (ароматические аминокислоты), так и вторичные, в том числе соединения феназинового ряда.

Феназины – большая группа гетероциклических соединений, обладающих антибиотической, антипаразитарной и противоопухолевой активностями. В связи с этим, соединения феназинового ряда являются перспективными объектами исследования для медицины и сельского хозяйства [2,3]. Синтез феназинов осуществляется в разных микроорганизмах, в том числе *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Brevibacterium*, *Burkholderia*, *Erwinia* и др. Объектом исследований в данной работе являлись феназин-продуцирующие бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* В-162.

В ходе полногеномного секвенирования в геноме данной бактерии было обнаружено 4 гена, кодирующие разные изоформы ДАГФ-синтазы. На основе анализа последовательностей две изоформы были отнесены к первому типу ДАГФс и две изоформы – ко второму типу ДАГФс. На данный момент не существует информации о причинах присутствия 4 генов ДАГФс в геноме данных бактерий и о том, на каких стадиях роста бактериальной культуры функционируют изоформы ДАГФс. Изучение

структурных и функциональных особенностей ДАГФс может способствовать направленной инженерии самого фермента и изменению состава сред и условий культивирования штаммов-продуцентов биологически активных веществ, что позволит повысить выход целевых метаболитов.

Целью данной работы являлось изучение структуры белковых молекул и потенциальных регуляторов ДАГФ-синтаз бактерий *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca*. В рамках поставленной цели необходимо было провести построение трехмерных моделей четырех изоформ ДАГФ-синтаз методом моделирования по гомологии, а также осуществить молекулярный докинг исследуемых ДАГФ-синтаз с выбранными потенциальными молекулами-регуляторами.

Для сравнительного моделирования было выбрано три программы: I-TASSER, Robetta и ModWeb. В качестве референсных структур для исследуемых ДАГФ-синтаз при помощи алгоритмов BLAST были выбраны следующие белки с детерминированными на практике третичными структурами:

- ДАГФ-синтаза *Neisseria meningitidis* MC58 (код доступа в ProteinDataBank 4HSO) – для ДАГФс I α _1 и ДАГФс I α _2, процент идентичности 51% и 52% соответственно;
- ДАГФ-синтаза *Pseudomonas aeruginosa* (код доступа в ProteinDataBank 6VMC) – для ДАГФс II_1, процент идентичности 71%;
- ДАГФ-синтаза *P. aeruginosa* (код доступа в ProteinDataBank 5UXM) – для ДАГФс II_2, процент идентичности 89%.

По результатам проведенного моделирования при помощи всех трех программ оказалось, что наиболее достоверные модели были построены при помощи алгоритмов I-TASSER[4]. Ключевой параметром оценки достоверности было наличие характерного для ДАГФ-синтаз «рукоподобного» С-конца, представленного только у моделей, сконструированных I-TASSER. Присутствие «рукоподобного» С-конца в молекулах ДАГФ-синтаз было доказано экспериментально при проведении рентгеноструктурного анализа и объясняется тем, что в клетках организмов ДАГФс находятся в виде димеров или тетрамеров, мономеры которых объединены между собой через данные С-концевые структуры.

Полученные модели были в дальнейшем использованы для молекулярного докинга с потенциальными молекулами-регуляторами. Докинг был проведен только для трех из четырех исследуемых ДАГФ-синтаз, поскольку известно, что одна ДАГФс II_1 относится к нерегулируемым ДАГФ-синтазам. В качестве лигандов были использованы описанные в литературе регуляторы для ДАГФ-синтаз других организмов: L-тирозин, L-триптофан, L-фенилаланин, хоризмат, префенат, фенилпириват и феназин-1-карбоксилат.

Для проведения докинга был использован программный пакет AutoDockVina [1]. Алгоритм действий выглядел следующим образом:

1. Структуры лигандов из базы данных PubChem в формате .sdf и конвертировались в формат .pdbqt при помощи AutoDockTools.

2. Полученные модели белков подготавливались согласно мануалу (удаление молекул воды, добавление полярных атомов водорода и эталонных зарядов по методу Коллмана) и конвертировались из формата .pdb в формат .pdbqt при помощи AutoDockTools.

3. Выбиралась область потенциального взаимодействия лиганда с аллостерическим центром белка в трехмерных координатах.

4. Проводился докинг при помощи алгоритмов AutoDockVina.

5. Осуществлялась оценка и выбор предпочтительного регулятора по следующим критериям (в порядке убывания):

5.1. Находится ли лиганд в пределах предсказанного аллостерического центра белка?

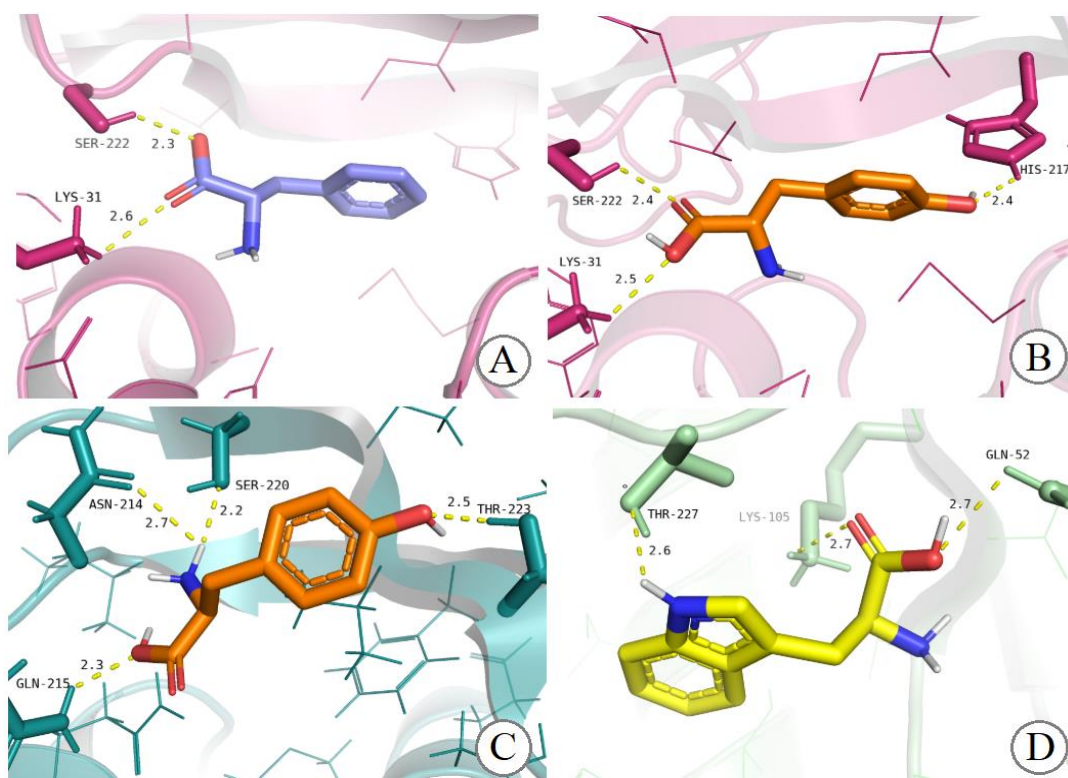
5.2. Сколько связей и с какими аминокислотными остатками аллостерического центра образует лиганд?

5.3. Какова аффинность связывания белка с лигандом в данной ориентации? Позиции с более низкой свободной энергией системы отдавалось преимущество.

По результатам анализа докинга и отбора наиболее достоверных позиций по описанным выше критериям, было сделано заключение, что потенциальными молекулами-регуляторами ДАГФс I α _1 являются аминокислоты L-тирозин и L-фенилаланин, ДАГФс I α _2 – L-тирозин, ДАГФс II_2 – L-триптофан.

Данные результаты согласуются с анализом определенных консенсусных последовательностей аллостерических центров исследуемых ДАГФс, согласно которым ДАГФс I α _2 и ДАГФс II_2 относятся к тирозин- и триптофан-регулируемым ДАГФ-синтазам, соответственно.

Для одного из ферментов, ДАГФс I α _1, нами была обнаружена консенсусная последовательность (HFGV), ранее не описанная в литературе. Согласно результатам проведенного нами докинга, данная последовательность обеспечивает взаимодействие с тирозином (в большей степени) и фенилаланином (в меньшей степени). Таким образом, ДАГФс I α _1 является тирозин/фенилаланин-регулируемым ферментом.



Пояснение: А, В – взаимодействие L-фенилаланина и L-тирозина с Lys-31, Ser-222, His-217 ДАГФс I α _1; С – взаимодействие L-тирозина с Asn-214, Gln-215, Ser-220, Thr-223 ДАГФс I α _2; D – взаимодействие L-триптофана с Gln-52, Lys-105, Thr-227 ДАГФс II_2.

Рис. Взаимодействие регуляторных молекул с ключевыми аминокислотными остатками аллостерических центров исследуемых ДАГФ-синтаз

Библиографические ссылки

1. Trott, O. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization and multithreading / O. Trott, A.J. Olson // J. Comput. Chem. – 2010. – Vol. 31, № 2. – P. 455-461.
2. Dynamic cross-talk among remote binding sites: the molecular basis for unusual synergistic allostery / W. Jiao [et. al.] // J. Mol. Biol. – 2012. – Vol. 415, № 4. – P. 716-726.
3. Potential chemopreventive agents based on the structure of the lead compound 2-bromo-1-hydroxyphenazine, isolated from *Streptomyces* species, strain CNS284 / M. Conda-Sheridan [et. al.] // J. Med. Chem. – 2010. – Vol. 53, № 24. – P. 8688-8699.
4. Roy, A. I-TASSER: a unified platform for automated protein structure and function prediction / A. Roy, A. Kucukural, Y. Zhang // Nat. Protoc. – 2010. – Vol. 5, № 4. – P. 725-738.

КЛОНИРОВАНИЕ И ЭКСПРЕССИЯ ГЛАВНЫХ АНТИГЕННЫХ ДОМЕНОВ ГЛИКОПРОТЕИНА E2 ВИРУСА ДИАРЕИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В КЛЕТКАХ *E. COLI*

О.В. Пластинина

Белорусский государственный университет, г. Минск;
oksana02plastinina@gmail.com;
науч. рук. – Н.В. Сауткина

Среди разнообразных патогенов крупного рогатого скота вирусная диарея (BVDV) занимает значительное место из-за вызываемых ею экономических убытков. Гликопротеин E2 липидной оболочки, а именно его первые два антигенных домена А и В могут выступать в качестве субъединицы для создания рекомбинантной вакцины. Целью работы являлось клонирование гена, кодирующего антигенные домены А и В гликопротеина E2 BVDV 2-ого типа, в составе вектора серии рЕТ для его экспрессии в клетках *E. coli*. В результате работы в клетках штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3) в составе вектора рЕТ-24b(+) клонированы оптимизированные для экспрессии гены DADB и DADBHis, кодирующие домены А и В гликопротеина E2 вируса BVDV 2-го типа (ген DADB), в том числе с гистидиновой меткой (ген DADBHis). Результаты клонирования подтверждены ПЦР-анализом, рестрикционным анализом и секвенированием по Сэнгеру. Установлено, что индукция экспрессии генов DADB и DADBHis приводит к накоплению в клетках *E. coli* нерастворимой клеточной фракции белков по массе соответствующих белкам DADB и DADBHis (18,6 кДа и 19,4 кДа соответственно) в количестве около 30 % от общего внутриклеточного белка.

Ключевые слова: BVDV, гликопротеин E2, домены А и В, рекомбинантные белки.

Вирусная диарея крупного рогатого скота является серьезным патогеном крупного рогатого скота, приводящим к значительным экономическим потерям в ряде стран. Заболевание вызывает группа вирусов BVDV (Bovine Viral Diarrhoea Virus), принадлежащая к роду *Pestivirus* семейства *Flaviviridae*. Контроль распространения вируса обеспечивается удалением из стада персистентноинфицированных животных, формированием уровня биобезопасности хозяйств и вакцинацией животных. В настоящее время из-за недостаточной эффективности существующих вакцин возникает необходимость создания новых препаратов.

Вирион данного вируса представляет собой нуклеокапсид, в котором заключен одноцепочечный РНК-геном. Основным гликопротеином липидной оболочки является белок E2, который также представляет собой основную мишень для нейтрализующих антител. В настоящее время гликопротеин E2 рассматривается в качестве основы для создания субъединичной вакцины. Но, из-за высокого содержания цистеиновых остатков, образующих внутримолекулярные и одну межмолекулярную дисульфидные связи, белок в клетках *E. coli* экспрессируется преимущественно в не-

растворимом виде [1]. Согласно кристаллической структуре гликопротеина E2 [2] за связывание вируса с мембраной клетки и проникновение в неё отвечают первые два антигенных домена А и В, поэтому в качестве основы для создания вакцины можно рассматривать не полноразмерный, а усеченный белок, имеющий в своем составе домены А и В. Целью работы являлось клонирование и экспрессия в клетках *E. coli* главных антигенных доменов А и В гликопротеина E2 BV DV 2-ого типа.

Нуклеотидная последовательность рекомбинантного белка E2, в состав которого входят домены А и В, оптимизировали для экспрессии в клетках *E. coli* путем замены редко встречающихся кодонов следующих аминокислот: лейцина (в 2 позициях), изолейцина (в 6 позициях), аргинина (в 7 позициях) и пролина (в 1 позиции). Кроме того, произвели замену и других кодонов на оптимальные при сохранении аминокислотной последовательности белка. В результате оптимизации индекс CAI (codon adaptation index) повысился с 0,53 до 0,8. Также для клонирования в составе вектора pET-24b(+) в ген ввели сайты рестриктаз NdeI (со стартовым триплетом АТГ), XhoI и EcoRI, стоп-кодона перед сайтом EcoRI и дополнительные нуклеотиды на 5'- и 3'-концы. В результате оптимизации был получен ген, обозначенный как *DADB*, длиной 545 п.н., который заказали в виде готового двухцепочечного фрагмента ДНК у компании Integrated DNA Technologies Inc. (IDT).

Данный фрагмент клонировали в составе вектора pET-24b(+) в двух вариантах. Ген *DADB* – по сайтам рестрикции NdeI и EcoRI (для очистки белка ионно-обменной хроматографией), ген *DADBHis* – по сайтам рестрикции NdeI и XhoI (для очистки белка металл-хелатной хроматографией). Полученными плазмидами, названными соответственно pDADBi и pDADBHis, трансформировали клетки штамма *E. coli* XL1-Blue. Полученные трансформанты проверяли на наличие вставки в плазмиде двумя способами: ПЦР-анализом и рестрикционным анализом. Также правильность нуклеотидных последовательностей проверяли секвенированием по Сэнгеру [3].

На следующем этапе работы клетки штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3) трансформировали плазмидами pDADB10 и pDADBHis5. Индукцию экспрессии генов проводили в течение 4 часов при 37 °С с добавлением ИПТГ (изопропил-β-D-тиогалактопиранозид) в конечной концентрации 0,5 ммоль/л. В результате проведения SDS/PAGE электрофореза суммарных клеточных белков *E. coli* зафиксировали наличие в клетках всех индуцированных трансформантов продуктов по массе соответствующих целевым белкам DADB (18,6 кДа) (дорожка 1 на рис. 1) и DADBHis (19,4 кДа) (дорожка 4 на рис. 1). Полученные штаммы обозначили соответственно *E. coli* BG pDADB10 и *E. coli* BG pDADBHis5.

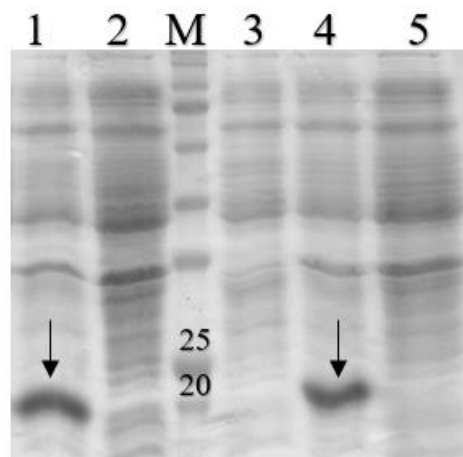


Рис. 1. Электрофоретический анализ белков клеточных лизатов рекомбинантных штаммов *E. coli* BG pDADB10 и *E. coli* BG pDADBHis5.

1 – трансформант *E. coli* BG pDADB10 (индукция), 2 – трансформант *E. coli* BG pDADB10 (без индукции, отрицательный контроль), 3 – *E. coli* BL21 (DE3) pET-24b(+) (индукция, отрицательный контроль), 4 – трансформант *E. coli* BG pDADBHis5 (индукция), 5 – трансформант *E. coli* BG pDADBHis5 (без индукции, отрицательный контроль), М – маркер молекулярного веса Proteinmarker VI (10-245) Prestained (PanReasApplichem). Стрелками указаны экспрессирующиеся белки, цифры на маркере молекулярного веса обозначают массу в кДа

Согласно денситометрическому анализу окрашенных красителем Ку-масси R-250 полиакриламидных гелей при помощи программы ImageJ (SoftonicDeveloperHub.) в клетках продуцентов *E. coli* BGpDADB10 и *E. coli* BGpDADBHis5 белки DADB и DADBHis накапливаются в количестве около 30 % от общего клеточного бактериального белка.

Далее определяли, в растворимой или нерастворимой клеточной фракции синтезируются целевые белки. При условии наличия в молекулах белков 8 остатков цистеина, участвующих в образовании дисульфидных связей, предполагали, что при оптимальной температуре культивирования продуцентов 37 °С белки DADB и DADBHis будут синтезироваться в нерастворимой форме с образованием белковых агрегатов, так называемых «телец включения». Однако понижение температуры культивирования бактерий может привести в отдельных случаях к синтезу растворимых белков вследствие правильного фолдинга. Поэтому индукцию экспрессии генов *DADB* и *DADBHis* культивирование штаммов *E. coli* BG pDADB10 и *E. coli* BG pDADBHis5 проводили при разных температурах: 20 °С и 37 °С. Затем клетки бактерий осаждали центрифугированием и разрушали с использованием реагента B-PER Bacterial Protein Extraction Reagent (ThermoFisherScientificInc.) согласно инструкции производителя. Результаты SDS/PAGE электрофореза белков клеточного лизата штамма *E. coli* BG pDADB10 изображены на рисунке 2.

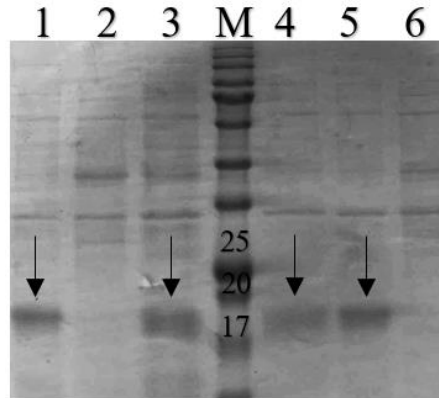


Рис. 2. Электрофоретический анализ белков клеточных лизатов рекомбинантного штамма *E. coli* BG pDADB10.

1 – осадок клеточного лизата (37 °С), 2 – надосадок клеточного лизата (37 °С), 3 – трансформант *E. coli* BG pDADB10 (индукция при 37 °С), 4 – трансформант *E. coli* BG pDADB10 (индукция при 20 °С), 5 – осадок клеточного лизата (20 °С), 6 – надосадок клеточного лизата (20 °С), М – маркер молекулярного веса Proteinmarker VI (10-245) Prestained (PanReasApplichem). Стрелками указаны экспрессирующиеся белки, цифры на маркере молекулярного веса обозначают массу в кДа

В результате установили, что при температурах культивирования продуцентов 20 °С и 37 °С белок DADB накапливается преимущественно в нерастворимой клеточной фракции (дорожки 1 и 5 на рис. 2). Белок DADBNi при 20 °С и 37 °С синтезируется в бактериальных клетках также в нерастворимой форме (данные не представлены).

Таким образом, в результате работы были получены штаммы-продуценты рекомбинантных белков DADB и DADBNi, несущих в своём составе домены А и В гликопротеина E2 оболочки вируса BVDV 2-го типа.

Библиографические ссылки

1. Endotoxin-free purification for the isolation of Bovine Viral Diarrhoea Virus E2 protein from insoluble inclusion body aggregates / Cavallaro, A.S. [et al.] // *Microbial Cell Factories*. 2011. Vol. 10, № 57. P. 1–9.
2. Crystal structure of glycoprotein E2 from bovine viral diarrhea virus / Y. Li [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013. Vol. 110, № 17. P. 6805–6810.
3. Пластинина, О.В. Разработка конструкций на основе вектора серии pET для экспрессии в штаммах *E. coli* антигенных доменов гликопротеина E2 вируса диареи крупного рогатого скота / О.В. Пластинина, Н.В. Сауткина // Тез. докл. VIII Респ. науч.-практ. конф. молодых учёных «Природа, человек и экология» / г. Брест, БрГУ; под общ. ред. С.Э. Карозы. – Брест, 2021. – 111 с.

ИЗУЧЕНИЕ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ *NICOTIANA TABACUM*, ВЫРАЩЕННЫХ В УСЛОВИЯХ БИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА

К.В. Приступа

Белорусский государственный университет, г. Минск;

kristina.pristupa@mail.ru

науч. рук. – Т.А. Кукулянская, канд. биол. наук, доц.

В настоящее время одной из задач, стоящих перед учеными, является получение растений, которые характеризуются повышенной устойчивостью к заражению грибами. В таких условиях в растениях усиливается интенсивность свободно радикальных окислительных процессов, повышается содержание активных форм кислорода (АФК). В ответ на усиление генерации АФК, как правило, наблюдается активация ферментативных компонентов антиоксидантной защиты [1].

Развитие биотического стресса сопровождается образованием избыточного количества этилена в растениях. Накопление данного фитогормона приводит к изменению их параметров роста и развития. Одним из способов снижения этилена является создание трансгенных растений, которые несут в своем геноме бактериальный *acdS*-ген, который кодирует 1-аминоциклопропан-1-карбоксилатдезаминазу (АЦК-дезаминазу). Данный фермент катализирует разрушение предшественника этилена [2].

Целью исследования являлось изучение влияния биотического стресса на активность ряда ферментативных антиоксидантов в нетрансгенных и трансгенных растениях *Nicotiana tabacum*, несущих *acdS*-ген бактерий *Pseudomonas putida* В-37.

Ключевые слова: АЦК-дезаминаза; антиоксидантная система; «стрессовый» этилен; ген *acdS*; *Pseudomonas putida* В-37.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступали нетрансгенные и трансгенные растения *Nicotiana tabacum*, которые несли в своем геноме ген *acdS* бактерий *Pseudomonas putida* В-37. Растения были выращены в нормальных условиях (контрольная серия) и при заражении растений грибом *Fusarium oxysporum* (опытная серия). Каждая серия включила себя по 10 нетрансгенных растений и 10 трансгенных растений.

Растительный материал (0,5 г) гомогенизировали в 0,1 М калий-фосфатном буфере (рН = 7,8), объем доводили до 10 мл. Полученные гомогенаты подвергали ультразвуковому воздействию (частота 11 кГц, время экспозиции 3×15с), центрифугировали 15 мин при 10 000 об/мин. Определение содержания белка, ферментов антиоксидантной защиты и других

биохимических показателей в экстрактах проводили согласно методическому пособию по спецпрактикуму [3]. Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы STATISTICA 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе нашей работы была определена активность АЦК-дезаминазы (табл. 1).

Таблица 1

Активность АЦК-дезаминазы в трансгенных растениях

Серия	Активность АЦК-дезаминазы, нмоль/(мг белка×мин)
Контрольная серия	0,072 ± 0,003
Опытная серия	1,04 ± 0,039*

Прим.: * – различия между контрольными и опытными сериями достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Как видно из представленных данных, воздействие на растения биотического стресса повышало активность АЦК-дезаминазы в 14 раз. Такое изменение активности фермента, наиболее вероятно, свидетельствует об индукции экспрессии гена, кодирующего АЦК-дезаминазу, под влиянием биотических факторов окружающей среды.

На следующем этапе нашей работы была определена общая антиоксидантная активность (ОАА) и активность глутатионредуктазы (ГР) в нетрансгенных и трансгенных растениях (табл. 2).

Таблица 2

Общая антиоксидантная активность и активность глутатионредуктазы в нетрансгенных и трансгенных растениях

Серия	Нетрансгенные растения		Трансгенные растения	
	ОАА, %	Активность ГР, мкМ НАДФН/ (мг белка × мин)	ОАА, %	Активность ГР, мкМ НАДФН/ (мг белка × мин)
Контрольная серия	60 ± 1,5	0,045 ± 0,003	54 ± 1,4	0,045 ± 0,003
Опытная серия	96 ± 2,9*	0,261 ± 0,010*	76 ± 2,5*	0,167 ± 0,006*

Прим.: ГР – глутатионредуктаза; ОАА – общая антиоксидантная активность; * – различия между контрольными и опытными сериями достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Согласно данным таблицы 2, нетрансгенные растения *Nicotiana tabacum* отличаются более высокой общей антиоксидантной активностью и активностью ГР по сравнению с трансгенными при заражении растений грибом *Fusarium oxysporum*. Показано, что при выращивании растений в условиях биотического стресса в нетрансгенных растениях ОАА увеличилась в 1,6 раз, в трансгенных – в 1,4 раз соответственно по сравнению с контрольной серией, активность ГР в нетрансгенных растениях возросла в 5,8 раз, в трансгенных – в 3,7 раз соответственно по сравнению с контрольной серией.

На заключительном этапе нашей работы была определена активность аскорбатпероксидазы (АПХ) и глутатионпероксидазы (ГПХ) во всех сериях растений (табл. 3).

Таблица 3

Активность глутатионпероксидазы и аскорбатпероксидазы в нетрансгенных и трансгенных растениях

Серия	Нетрансгенные растения		Трансгенные растения	
	Активность ГПХ, мкМ окисленного глутатиона/ (мин × мг белка)	Активность АПХ, отн.ед./ (мин×мг белка)	Активность ГПХ, мкМ окисленного глутатиона/ (мин × мг белка)	Активность АПХ, отн.ед./ (мин×мг белка)
Контрольная серия	0,03±0,001	0,03±0,002	0,03 ± 0,002	0,03 ± 0,002
Опытная серия	0,12±0,007*	0,19±0,010*	0,08 ± 0,004*	0,14 ± 0,008*

Прим.: АПХ – аскорбатпероксидаза; ГПХ – глутатионпероксидаза; * – различия между контрольными и опытными сериями достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Как видно из представленных данных, воздействие на растения биотического стресса повышало активность ГПХ в 4 раза для нетрансгенных растений и в 2,7 раз для трансгенных растений соответственно по сравнению с контрольной серией.

нию с контрольной серией. Активность АПХ в условиях заражения растений грибом *Fusarium oxysporum* увеличилась в 6,3 раз для нетрансгенных растений и в 4,7 раз для трансгенных растений соответственно по сравнению с контрольной серией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе сравнивались некоторые биохимические показатели нетрансгенных и трансгенных растений *Nicotiana tabacum* в условиях биотического стресса. Полученные результаты свидетельствуют об индукции экспрессии гена *acdS* в трансгенных растениях при заражении их грибом *Fusarium oxysporum*. Вероятно, трансгенные формы растений отличаются более низкой интенсивностью процессов свободного окисления, в них в меньшем количестве образуются АФК и другие свободнорадикальные структуры, по сравнению с нетрансгенными. Следовательно, в трансгенных растениях в меньшей степени происходит активация ферментативных компонентов антиоксидантной защиты (АПХ, ГПХ, ГР), что, возможно, обуславливает более низкую ОАА и активность исследуемых ферментов.

Библиографические ссылки

1. *Mates J.M.* Effects of antioxidant enzymes in the molecular control of reactive oxygen species toxicology // *Toxicology*. 2000. Vol. 153. P. 83-104. DOI: 10.1016/s0300-483x(00)00306-1.
2. *Gontia-Mishra I.* Recent developments in use of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase for conferring tolerance to biotic and abiotic stress// *Biotechnology Letters*. 2014. Vol. 36. P. 889–898. DOI: 10.1007/s10529-014-1458-9.
3. *Семак И.В.* Методическое пособие по спец. практикуму для студентов биологического факультета. Минск: БГУ, 2012.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ СИРЕНИ НА ПУЛ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КОЖИ, ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ И АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ У КРЫС ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ХРОНИЧЕСКОМ АЛЛЕРГИЧЕСКОМ КОНТАКТНОМ ДЕРМАТИТЕ

Е.П. Раковчук

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
rakovchuker@mail.ru;*

науч. рук. – М.С. Чумаченко, ст. преп., М.П. Шапчиц, канд. биол. наук, доц.

В настоящее время в мире наблюдается значительный рост воспалительных аллергических заболеваний кожи; это определяет актуальность и необходимость изучения патогенеза кожных заболеваний, а также разработку способов их лечения.

Цель исследования: оценить влияние экстракта суспензионной культуры сирени на пул жирных кислот кожи, показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной системы (АОС) в тканях при индуцированном 1-хлор-2,4-динитробензолом хроническом аллергическом контактном дерматите (АКД) у крыс.

Индукция хронического АКД при многократном действии на кожу 1-хлор-2,4-динитробензола проявляется активацией ПОЛ в печени, почке крыс и снижением активности антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы и каталазы в печени и селезенке, а также развитием дисметаболизма жирных кислот в коже.

Лечение животных с хроническим АКД с использованием эмульсии, содержащей экстракт суспензионной культуры сирени, снижало интенсивность ПОЛ в печени и почке крыс и частично восстанавливало активность ферментов АОС, что является следствием снижения интенсивности воспалительных процессов в коже. На фоне лечения хронического АКД экстрактом культуры сирени частично восстанавливается метаболизм жирных кислот: α -линоленовой, γ -линоленовой и арахидоновой. Выявленные эффекты предполагают эффективным применение эмульсии, содержащей экстракт суспензионной культуры сирени, для лечения хронических воспалительных заболеваний кожи.

Ключевые слова: жирные кислоты; супероксиддисмутаза; каталаза; перекисное окисление липидов; аллергический контактный дерматит; суспензионная культура сирени.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск природных агентов, которые могут быть эффективны при лечении воспалительных и аллергических заболеваний кожи, является весьма актуальным. Определенный интерес представляют фенолэфанилэтанонидные гликозиды, а именно вербаскозид, выделенный из экстракта *Syringavulgaris*. Показано, что вербаскозид снижает уровень активных форм кислорода, повышает активность антиоксидантов, – в частности, глутатион-S-трансферазы (GST), и хелатирует железо [1, 2]. Установлена

его способность снижать уровни медиаторов воспаления: провоспалительных цитокинов, гистамина, а также перекисей липидов и альдегидов, в том числе малонового диальдегида и 4-гидрокси-2-ноненаля [1].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на самцах крыс Wistar массой 280–300 г. Для моделирования хронического АКД использовался 1-хлор-2,4-динитробензол (в смеси ацетон: оливковое масло, 4:1), который наносился каждые 2 суток в течение 21 дня на предварительно выбритый участок кожи, в межлопаточной области (3×3 см). Эмульсия, содержащая экстракт суспензионной культуры сирени, наносилась на кожу один раз в день в течение 7 суток. Животные были разделены на следующие экспериментальные группы: Серия 1 – интактные крысы (n=6); Серия 2 – крысы с индуцированным хроническим АКД (n=10); Серия 3 – крысы с индуцированным хроническим АКД + нанесение эмульсии (n=9); Серия 4 – интактные крысы + нанесение эмульсии, (n=9). В тканях крыс (гомогенат печени, почки и селезенки) определялась концентрация альдегидных продуктов ПОЛ в реакции с тиобарбитуровой кислотой [3], а также активность супероксиддисмутазы (СОД) [4] и каталазы [5]. В коже крыс с использованием метода газовой хроматографии-масс-спектрометрии определялась концентрация жирных кислот.

Результаты представлены как среднее ± стандартная ошибка среднего. Критическое значение уровня значимости было принято равным 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что аллергический контактный дерматит (АКД), вызванный 1-хлор-2,4-динитробензолом, проявляется значительными изменениями кожного покрова: – гиперемия, отек, серозно-гнойные корки, повышение местной температуры, зуд; проявлялось беспокойство животных и взъерошенность шерсти. После обработки пораженной кожи крыс эмульсией, содержащей экстракт суспензионной культуры сирени, наблюдалось купирование зуда, разрешение воспалительного отека тканей, гиперемии, шелушения.

В коже крыс с хроническим АКД выявлено достоверное снижение уровня арахидоновой и докозагексаеновой кислот (в 1,6 и 1,5 раза соответственно), что может быть связано с их участием в развитии воспалительных процессов. Снижение уровня арахидоновой кислоты при АКД, по-видимому, следствие её активной трансформации в медиаторы воспаления за счет активации циклооксигеназного пути её превращений с образованием простагландинов (PGD₂, PGE₂, PGF₂α) и тромбксана А.

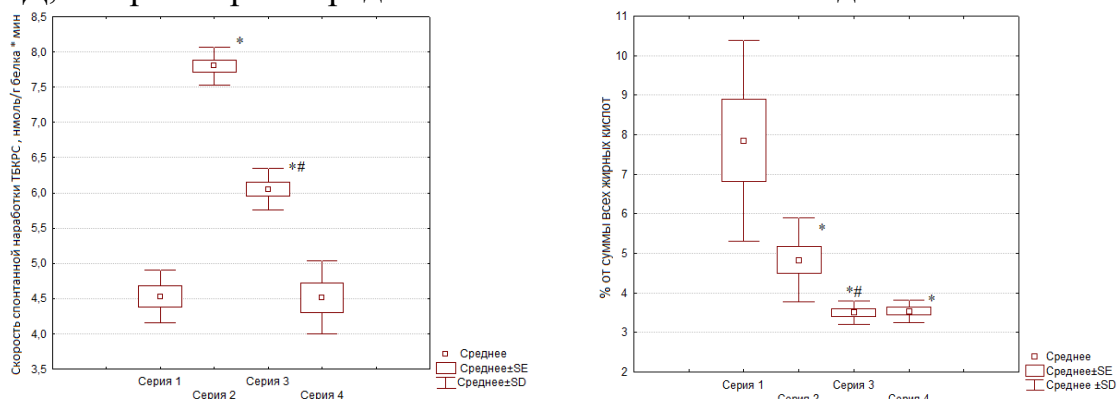
Об активности ПОЛ в гомогенатах печени и почки крыс судили по изменению скорости спонтанной наработки альдегидных продуктов (ТБКРС): данный показатель является маркером окислительного стресса. У крыс с хроническим АКД достоверно повышается скорость спонтанной наработки ТБКРС в печени и почке относительно контрольной группы (в 1,73 и 1,63 раза, соответственно; $p < 0,05$). Это, по-видимому, связано с высоким уровнем свободных радикалов в кератиноцитах в ответ на действие 1-хлор-2,4-динитробензола.

Активация липопероксидации у крыс с АКД сопровождалась дисрегуляцией ферментов антиоксидантной системы. При АКД отмечался дефицит антиоксидантной активности, что выразилось в снижении активности СОД (в 1,8 и 1,4 раза, $p < 0,05$) и каталазы (в 1,6 и 1,5 раза, $p < 0,05$) соответственно в гомогенате печени и селезенки. По-видимому, это связано с интенсификацией процессов ПОЛ и ингибирующим действием высоких концентраций промежуточных и конечных продуктов ПОЛ.

При обработке кожи крыс с хроническим АКД эмульсией, содержащей экстракт суспензионной культуры сирени, выявлен положительный эффект: снижение скорости спонтанной наработки ТБКРС в тканях печени и почки (соответственно в 1,3 и 1,2 раза; $p < 0,05$) – рисунок 1, А. Обработка кожи интактных крыс эмульсией не влияла на скорость спонтанной наработки ТБКРС в тканях ($p > 0,05$). При действии исследуемой эмульсии на группу крыс с хроническим АКД снижалась активность ПОЛ, что способствовало восстановлению активности антиоксидантных ферментов. Выявлено повышение активности СОД в гомогенатах печени и селезенки в 1,3 и 1,2 раза соответственно ($p < 0,05$), а также повышение активности каталазы – в 1,2 раза ($p < 0,05$) – в группе крыс с индуцированным хроническим АКД+эмульсия, относительно группы крыс с хроническим АКД.

Нами установлено, что эмульсия, содержащая экстракт суспензионной культуры сирени, незначительно снижала уровень арахидоновой кислоты в коже крыс с хроническим АКД (рис. 1, Б), но не влияла на уровень докозагексаеновой кислоты. В случае контрольной группы применение эмульсии снижало уровень арахидоновой кислоты в 2,2 раза, и в меньшей степени – докозагексаеновой кислоты. Снижение концентрации арахидоновой кислоты, индуцированное экстрактом суспензионной культуры сирени, по-видимому, связано с ингибированием фосфолипаз в коже, что показано для вербаскозида. Полученный нами экстракт суспензионной культуры сирени, стимулирует АОС, повышая активность антиоксидантных ферментов (СОД, каталазы) в тканях крыс на фоне ингибирования свободнорадикальных и воспалительных процессов. Установлено, что экстракт сирени снизил в коже крыс уровень α -линоленовой (в 3,1 раза,

$p < 0,05$) и γ -линоленовой кислот (в 1,4 раза, $p < 0,05$), повышенных при АКД, что расширяет представление о механизмах его действия в коже.



А

Б

Рис. 1 – Влияние экстракта суспензионной культуры сирени на скорость спонтанной выработки ТБКРС в гомогенате печени крыс (А) и содержание арахидоновой кислоты в коже (Б)

Серия 1 – интактные крысы; серия 2 – крысы с индуцированным хроническим АКД; серия 3 – крысы с индуцированным хроническим АКД + эмульсия, содержащая экстракт суспензионной культуры сирени; серия 4 – интактные крысы + эмульсия, содержащая экстракт суспензионной культуры сирени

* – достоверные различия ($p < 0,05$) по отношению к группе интактные крысы (серия 1);

– достоверные различия ($p < 0,05$) по отношению к группе крыс с индуцированным хроническим АКД (серия 2)

Выявленные эффекты предполагают возможным применение эмульсии, содержащей экстракт суспензионной культуры сирени, для лечения хронических воспалительных заболеваний кожи.

Библиографические ссылки

1. Activity and stability studies of verbascoside, a novel antioxidant, in dermo-cosmetic and pharmaceutical topical formulations / S. Vertuani [et al.] // *Molecules*. – 2011. – Vol. 67. – P. 7068-7080.
2. Effects of verbascoside, biotechnologically purified by *Syringa vulgaris* plant cell cultures, in a rodent model of periodontitis / R. D. Paola [et al.] // *J Pharm Pharmacol*. – 2011. – Vol. 63, № 5. – P. 707-717.
3. Стальная, И. Д. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты. / И. Д. Стальная, Т. Г. Гавришвили; под ред. В. Н. Ореховича // *Методы современной биохимии*. – М.: Медицина. – 1977. – С. 66-68.
4. Простой и чувствительный метод определения активности супероксиддисмутазы, основанный на реакции окисления кверцетина. / В. А. Костюк [и др.] // *Вопр. Мед. Химии*. – 1990. – Т. 36, № 2. – С. 88-91.
5. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк [и др.] // *Лаб. Дело*. – 1988. – № 1. – С. 16-19.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ю.А. Рудковская

Белорусский государственный университет, г. Минск;

j_rudkovskaya@mail.ru;

науч. рук. – М.Л. Минец

Мелкие млекопитающие являются важным звеном многих экосистем: они входят в состав трофических цепей, а благодаря особенностям биологии и экологии, позволяющим им в довольно короткие сроки значительно увеличивать численность своей популяции, они, соответственно, способны влиять на динамику и численность других сообществ. В жизни человека играют преимущественно отрицательную роль, повреждая и уничтожая сельскохозяйственные культуры и запасы зерновых, а также являясь переносчиками опасных заболеваний. Поэтому очень важно знать структуру и динамику сообществ мелких млекопитающих как для потенциального предупреждения возникновения эпидемиологических ситуаций, охраны урожая, так и для изучения динамики сообществ других млекопитающих, хищных птиц, обитающих, в том числе, и на особо охраняемых природных территориях. В работе на основе предварительных данных дана характеристика видового состава, численности и структуры сообществ мелких млекопитающих двух особо охраняемых природных территорий Минского района. Выявлено шесть видов мелких млекопитающих: *Sorex araneus*, *Sorex minutus*, *Apodemus flavicollis*, *Apodemus agrarius*, *Clethrionomys glareolus*, *Microtus agrestis*. Показано, что структура сообществ микромаммалий варьирует в зависимости от биотопических условий территории их обитания и от доступной кормовой базы.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие; особо охраняемые природные территории; структура сообщества; *Sorex araneus*; *Sorex minutus*; *Apodemus flavicollis*; *Apodemus agrarius*; *Clethrionomys glareolus*; *Microtus agrestis*.

ВВЕДЕНИЕ

Мелкие млекопитающие являются важной частью многих экосистем, выполняя в них самые разнообразные функции. Они практически незаменимы во многих трофических цепях, особенно в тех, в которых участвуют хищные птицы. Мелкие млекопитающие являются индикатором динамики условий среды, отвечают за колебание численности и изменение структуры животных и растительных сообществ. Важная роль в сохранении биологического разнообразия в целом, и мелких млекопитающих в частности, принадлежит особо охраняемым природным территориям (ООПТ). На территории Минского района расположен ряд ООПТ, в том числе биологический заказник республиканского значения «Подсады» и памятник природы республиканского значения «Дубрава» (БЗРЗ «Подсады» и ППРЗ «Дубрава»).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сборы мелких млекопитающих проводились в 2017–2020 гг. на территории двух ООПТ – БЗРЗ «Подсады» (53° 55' с. ш., 27° 09' в. д.) и ППРЗ «Дубрава» (53° 50' с. ш., 27° 28' в. д.). Исследовано шесть биотопов: в БЗРЗ «Подсады» – открытый пойменный биотоп, хвойно-широколиственный лес с участием дуба, широколиственный лес с преобладанием клена, сосняк кисличный, ельник мшистый; в ППРЗ «Дубрава» – хвойно-мелколиственный лес. Отлов и учет мелких млекопитающих проводили методом ловушко-линий, с использованием давилок «Геро» со стандартной приманкой. В работе обобщены данные собственных учетов (2020 г.) и учетов, проведенных в 2017-2018 гг. студентами кафедры С.А. Амано-вым и М.Ю. Ольшевским. Суммарно за весь период учетов отработано 658 ловушко-суток, отловлено 54 экземпляра зверьков.

Обловы 2017 г. проведены в конце августа – начале сентября (28.0–801.09) в трех биотопах: открытом пойменном биотопе, хвойно-широколиственном и широколиственном лесах. Отработано 225 ловушко-суток. Отловлено 23 экземпляра, выявлено 6 видов: *Sorex araneus*, *Sorex minutus*, *Clethrionomys glareolus*, *Microtus agrestis*, *Apodemus agrarius*, *Apodemus flavicollis*.

Обловы в 2018 г. проведены в начале апреля (07.04–10.04) в двух биотопах: открытом пойменном биотопе, широколиственном лесу с преобладанием клена. Отработано 133 ловушко-суток, ни одного экземпляра зверька поймать не удалось.

Собственные обловы 2020 г. проведены в конце июля – начале августа в трех биотопах: сосняке кисличном (БЗРЗ «Подсады», 28.07–01.08), ельнике мшистом (БЗРЗ «Подсады», 28.07–01.08), хвойно-мелколиственном лесу (ППРЗ «Дубрава», 04.08–07.08). Отработано 300 ловушко-суток. Отловлено 31 особей, выявлено 3 вида: *Sorex araneus*, *Clethrionomys glareolus*, *Apodemus flavicollis*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все виды, выявленные в результате проведенных отловов, типичны для разнообразных биотопов центральных районов Беларуси. Это представители отрядов грызуны (Rodentia) и насекомоядные (Insectivora). В таблице 1 приведены величины их уловистости.

Таблица 1

Уловистость мелких млекопитающих (экз./100 лов.-сут.) в различных биотопах
ООПТ Минского района

Вид	ООПТ, биотоп					
	БЗРЗ «Подсады»					ППРЗ «Дуб-рава»
	Пойма	Хвойно-широколиственный	Широколиственный	Сосняк	Ельник	Хвойно-мелколиственный
Отряд Насекомоядные (Insectivora)						
Семейство Землеройковые (Soricidae)						
<i>Sorex araneus</i>	6,7			3,0		2,0
<i>Sorex minutus</i>	2,7					
Отряд Грызуны (Rodentia)						
Семейство Хомяковые (Cricetidae)						
<i>Clethrionomys glareolus</i>		4,0	4,0	3,0	1,0	18,0
<i>Microtus agrestis</i>	1,3					
Семейство Мышиные (Muridae)						
<i>Apodemus agrarius</i>	1,3					
<i>Apodemus flavicollis</i>		6,6	4,0		1,0	3,0
Всего:	12,0	10,6	8,0	6,0	2,0	23,0

Clethrionomys glareolus – наиболее распространённый вид исследованных территорий. Он встречался во всех биотопах, за исключением открытого пойменного. Вторым по распространённости идёт *Apodemus flavicollis* (в 4 из 6 биотопов), третьим – *Sorex araneus* (в 3 из 6 биотопов). Виды: *Sorex minutus*, *Microtus agrestis* и *Apodemus agrarius* отловлены только в открытом пойменном биотопе. Структура сообществ микромамманий варьирует в зависимости от биотопических условий территории их обитания и от доступной кормовой базы. Можно заметить (табл. 1), что, хоть открытый пойменный биотоп и обладает наибольшим видовым составом, сообщество мелких млекопитающих хвойно-мелколиственного леса по уловистости превосходит сообщество поймы почти в два раза. Во-первых, это связано с доступной кормовой базой: в период отлова хвойно-широколиственный лес отличался разнообразием и развитием растительной биомассы, что сказалось на видовом составе. *Clethrionomys glareolus* – эврифаг, предпочитающий вегетативные части растений; в рационе *Apodemus flavicollis* преобладают семена древесных и травянистых растений. Кормовая база поймы представлена в основном травостоем и животным кормом. Во-вторых, подобные различия в структуре сообществ можно объяснить биотопическими особенностями территорий и экологическими особенностями видов (обыкновенная и малая бурозубки предпочитают увлажненные затемненные места, особенно рядом с водоемами, а рыжая полевка и желтогорлая мышь – лиственные и смешанные леса) [1].

Стоит также учитывать миграцию некоторых видов: *Apodemus agrarius* обычно не селится в пойменных биотопах, однако исследуемая пойма соседствовала с полем, откуда, видимо, и пришла полевая мышь в связи с истощением кормовой базы.

Отмечены различия в структуре сообществ мелких млекопитающих в ельнике и сосняке. Облавливаемые территории граничат друг с другом, учеты в них проведены в одно время. Сосняк имел довольно развитый подлесок и мощный живой напочвенный покров (преимущественно состоящий из кислицы). Ельник же был сухим, в нём практически отсутствовала растительность. Обыкновенная бурозубка предпочитает леса с рыхлой и толстой мертвой подстилкой, однако в течение года меняет станции в зависимости от метеорологических условий и состояния кормовой базы [2, 3], с этим фактом мы и связываем ее присутствие в сосняке. Наиболее схожи по видовому составу сообщества мелких млекопитающих хвойно-широколиственного леса с участием дуба и широколиственного леса с преобладанием клена. Однако в хвойно-широколиственном лесу четко определялся доминантный вид (это связано с наличием более широкого выбора кормов для желтогорлой мыши), в то время как в широколиственном лесу отловлено одинаковое количество экземпляров обоих видов. Таким образом, главной причиной отличий в видовом составе и уловистости в этих двух биотопах является доступная кормовая база.

В целом можно отметить, что структуры сообществ мелких млекопитающих в исследованных биотопах более или менее совпадают с их распределением и численностью, которые можно предположить на основе особенностей их экологии и биологии.

Библиографические ссылки

1. Бурко, Л.Д. Позвоночные животные Беларуси / Л.Д. Бурко, В.В. Гричик. – Минск: БГУ, 2004.
2. Гричик, В.В. Животный мир Беларуси. Позвоночные: учеб. пособие / В.В. Гричик, Л.Д. Бурко. – Минск: Издательский центр БГУ, 2013.
3. Савицкий, Б.П. Млекопитающие Беларуси / Б.П. Савицкий, С.В. Кучмель, Л.Д. Бурко; под общ. ред. Б.П. Савицкого. – Мн.: БГУ, 2005.

ВВЕДЕНИЕ *PERSEA AMERICANA* В КУЛЬТУРУ КЛЕТОК И ЕЁ АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА

А.Е. Савич

*Белорусский государственный университет,
arturnic777@gmail.com;
науч. рук.- А.О. Логвина, канд. биол. наук, доц.*

Целью работы было введение авокадо (*Persea americana*) в культуру клеток *in vitro* и изучение антиоксидантного потенциала нативных растений и каллусных тканей разного происхождения. Из асептически выращенных растений авокадо были получены каллусные культуры трёх линий (листового, стеблевого и корневого происхождения), изучены особенности фитогормональной регуляции процесса каллусогенеза. Общее содержание фенольных соединений в листьях и стеблях растений авокадо статистически не различается и составляет 30 мг/г сух. м. Уровень накопления фенольных соединений в каллусных культурах определялся фитогормональным составом среды. Среди каллусных культур трёх типов наиболее высокие значения показателя (28 мг/г сух. м.) отмечены у каллусов стеблей на питательных средах, включающих 0,5 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и 0,5 мг/л кинетина, а также 0,5 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и 1,0 мг/л кинетина. Определение антиоксидантного потенциала экстрактов каллусов, выращенных на всех вариантах среды, показало, что их антирадикальная активность была достоверно более высокой, чем у экстрактов органов нативного растения. Восстановительная активность экстрактов каллусов, выращенных на всех протестированных вариантах среды, оказалась ниже, чем у экстрактов, полученных из органов нативного растения авокадо.

Ключевые слова: авокадо; персея американская; *Persea americana*; каллус; фитогормоны; содержание фенольных соединений; антиоксидантная активность.

Авокадо, или персея американская – вечнозелёное плодое растение, произрастающее в тропиках и субтропиках Америки, Восточной и Юго-Восточной Азии, Африки. В биохимическом плане надземная масса и плоды авокадо имеет большую ценность, т.к. содержит огромное количество самых разнообразных соединений. Применяется в пищевой промышленности, в медицине, фармацевтике и косметологии.

Впервые клеточные культуры авокадо были получены в 70-80-х гг. 20 века [1]. Однако относительных успехов тогда добились только в микрклональном размножении. Кроме этого, в русскоязычной литературе отсутствуют упоминания о введении авокадо в культуру клеток.

В этой связи значительный интерес представляет получение культуры клеток авокадо, как с точки зрения рассмотрения в качестве альтернативного источника ценных веществ, так и с точки зрения пополнения отечественных коллекций клеточных культур.

Целью данной работы являлось введение авокадо в культуру клеток *invitro* и изучение антиоксидантного потенциала нативных растений и каллусных тканей разного происхождения.

В работе была использована основная питательная среда Мурасиге и Скуга (МС). При получении асептически выращенных растений авокадо применяли безгормональную среду МС. В ходе изучения гормональной регуляции эффективности каллусогенеза, дальнейшего их культивирования и определения биохимических характеристик в основную питательную среду МС вносили фитогормоны: ауксин – 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), цитокинин – кинетин. Концентрации указанных фитогормонов составляли 0,5 и 1,0 мг/л. Было протестировано 4 их комбинации. На протяжении инициации каллусной ткани экспланты находились в условиях микробиологического термостата при температуре 24°C в темноте. В тех же условиях выращивались полученные каллусные культуры. Растения авокадо получали из семян. Выращивали в грунте в условиях фитостата (14 ч света/10 ч темнота) при комнатной температуре и интенсивности света 3000 люкс. Для определения биохимических характеристик готовили 70 %-ные водно-спиртовые экстракты (соотношение сырья и экстрагента 1 : 100) путем настаивания смеси в течение 24 ч при непрерывном помешивании при комнатной температуре с последующим нагреванием на водяной бане в течение 1 ч при 70°C. В ходе количественного анализа фенолов в растительных объектах использовали метод Фолина-Чокальтеу с небольшими модификациями [2]. Содержание фенольных соединений в пробах выражали в мг/г сухой массы в эквиваленте галловой кислоты. Для определения антирадикальной активности экстрактов использовали метод DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) [3]. Общую антиоксидантную (восстановительную) активность экстрактов оценивали фосфомолибденовым методом [4]. Показатели антиоксидантной активности проб выражали в мг/г сухой массы в эквиваленте аскорбиновой кислоты.

Первым этапом работы было введение авокадо (*Persea americana*) в культуру *invitro*. Сперва был получен источник стерильных эксплантов – асептически выращенное растение авокадо. В ходе инициации и изучения гормональной регуляции эффективности каллусогенеза мы использовали 4 варианта питательной среды МС, содержащих фитогормоны ауксиновой и цитокининовой природы в разных концентрациях.

На стеблевых эксплантах каллус появился уже на 10 сут культивирования, на листовых и корневых эксплантах формирование каллуса было зарегистрировано на 20 сут (рис. 1).

Эффективность каллусогенеза была довольно высокой и составила для стеблевых эксплантов 100%, для листовых – 60%, для корневых – 80%.

Причем эффективность каллусогенеза не зависела от содержания фитогормонов.

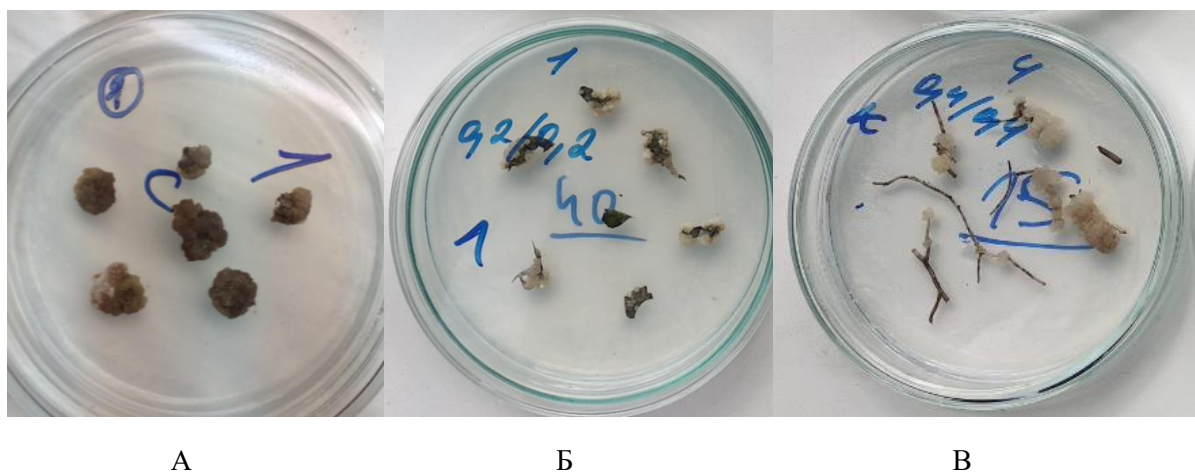


Рис.1 – Стеблевые (А), листовые (Б), корневые (В) экспланты персеи американской с образующимся кассусом на 20 сут культивирования на питательных средах с добавлением фитогормонов

Культивирование полученных каллусов продолжили на тех же 4 вариантах питательных сред.

Следующим этапом исследования было определение суммарного содержания фенольных соединения в листьях и стеблях нативных растений авокадо и полученных каллусных культур, а также изучение их антиоксидантного потенциала.

Было показано, что суммарное содержание фенолов в листьях и стеблях растений авокадо составляет около 30 мг/г сух. м. Содержание фенольных соединений также определяли во всех инициированных линиях каллусов, культивируемых на 4-х вариантах питательных сред, различающихся содержанием фитогормонов.

Наибольшие значения показателя, равные в среднем 28 мг/г сух. м., отмечены у каллусов стеблей на вариантах питательной среды, включающих 0,5 мг/л 2,4-Д и 0,5 мг/л кинетина, 2 – 0,5 мг/л 2,4-Д и 1,0 мг/л кинетина. У каллусов корней и листьев наивысшие значения показателя наблюдались в присутствии 0,5 мг/л 2,4-Д и 0,5 мг/л кинетина.

Можно отметить, что для всех вариантов питательной среды, суммарное содержание фенольных соединений уменьшается в следующем ряду: стеблевой каллус > корневой каллус > листовой каллус.

Для установления антиоксидантной активности экстрактов применяли несколько методов. Было обнаружено, что экстракты, полученные из листьев и стеблей, как и в случае уровня фенольных соединений, обладают практически равной способностью нейтрализовать свободные радикалы. Что касается экстрактов каллусов, выращенных на всех вариантах среды,

то их антирадикальная активность оказалась достоверно выше, чем у органов нативного растения. Полученные результаты можно объяснить тем, что в каллусах авокадо, вероятно, в большем количестве синтезируются соединения, дезактивирующие свободные радикалы. И это могут быть не только соединения фенольной природы.

У экстрактов листьев общая антиоксидантная активность была выше, чем у экстрактов стеблей. В отличие от результатов теста по определению радикал-ингибирующих свойств, значения показателя восстановительной активности для экстрактов каллусов оказались ниже, чем у нативного растения. Выявлено, что для сред, дополненных 0,5 мг/л 2,4-Д и кинетина, 0,5 мг/л 2,4-Д и 1,0 мг/л кинетина, 1,0 мг/л 2,4-Д и 0,5 мг/л кинетина обнаруживалась зависимость от типа эксплантов: более высокая восстановительная активность была у стеблевого и корневого каллусов. Кроме того, восстановительная активность экстрактов каллусов всех типов для данных вариантов сред коррелирует с содержанием фенолов.

Таким образом, в ходе проведенной работы из асептически выращенных растений авокадо были получены каллусные культуры трех линий (листового, стеблевого и корневого происхождения), изучены особенности фитогормональной регуляции процесса каллусогенеза, определено содержание фенольных соединений в органах нативных растений авокадо и инициированных клеточных культурах, оценены антиоксидантные свойства их экстрактов. Дальнейшая работа будет включать оптимизацию состава питательных сред для повышения показателей роста и биосинтетического потенциала каллусов авокадо.

Библиографические ссылки

1. Young M. J. Avocado callus and bud culture // Proceedings of the Florida State Horticultural Society. – 1983. Vol. 96. – P. 181–182.
2. Slinkard K., Singleton V. L. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods // American journal of enology and viticulture. – 1977. – Vol. 28. – P. 49–55.
3. Jastrzebski Z., [et al.]. *In vitro* studies of polyphenol compounds, total antioxidant capacity and other dietary indices in a mixture of plants (Prolipid) // International Journal of Food Sciences and Nutrition. – 2007. – Vol. 58, Iss. 7. – P. 531–541.
4. Prieto P., Pineda M., Aguilar M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E // Analytical Biochemistry. – 1999. – Vol. 269. – P. 337–341.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС ПРИ ПИЩЕВОЙ ДЕПРИВАЦИИ

М.А. Семёнова

*Белорусский государственный университет, Минск,
vfiyrf9919@mail.ru;
науч. рук. - Петрова С. М., ст. преп.*

Полная пищевая депривация – воздержание от приема пищи с неограниченным употреблением воды, чаще называют «водным» голоданием. В последние годы к пищевой депривации повышен интерес, так как этот метод эффективно помогает при ряде заболеваний внутренних органов, кожных болезней, а также опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: пищевая депривация, глюкоза, пировиноградная кислота, холестерол, общий белок, лактатдегидрогеназа.

Количество потребляемой пищи меняется с течением времени для живых организмов, которые живут в условиях, где при её низкой доступности нужно поддержать физиологическую функцию, полагаясь на внутренние запасы веществ. Пищевая депривация – это стрессовый фактор, существенно меняющий энергетический статус организма. [1] Уменьшение поступления питательных веществ вызывает снижение содержания гликолитических и других интермедиатов в крови. [2] Важными маркерами углеводного обмена являются пировиноградная кислота, глюкоза и лактатдегидрогеназа; белкового обмена – общий белок, а обмена липидов – холестерол. Исследование данных показателей отобразит динамику их вовлеченности в метаболизм. В связи с этим целью данной работы явилось изучение изменений биохимических показателей в сыворотке крови крыс при пищевой депривации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на беспородных белых крысах-самцах массой 150-200 г, находящихся на стандартном рационе вивария БГУ. В ходе выполнения работы животные были разделены на следующие экспериментальные группы по 5 животных: 1-ая группа – интактные крысы, содержащиеся на стандартном рационе вивария БГУ (контрольная группа) 2-ая группа – крысы с полной пищевой депривацией в течение суток; 3-я группа – крысы с полной пищевой депривацией в течение двух суток; 4-ая группа – крысы с полной пищевой депривацией в течение трёх суток; 5-ая группа – крысы с полной пищевой депривацией в течение четырёх суток; 6-ая группа – крысы с полной пищевой депривацией в течение пяти суток. По окончании эксперимента животных подвергали декапитации и проводили измерения основных биохимических маркеров сыворотки крови. Концентрацию глюкозы определяли глюкозооксидазным методом с использованием коммер-

ческого набора реактивов, концентрацию холестерина определяли спектрофотометрическим методом с использованием коммерческого набора реактивов, активность лактатдегидрогеназы определяли кинетическим методом с использованием коммерческого набора реактивов, содержание пировиноградной кислоты – модифицированным методом Умбрайт [3], содержание общего белка биуретовым методом с использованием коммерческого набора реактивов.

Экспериментальные данные обрабатывали статистически с подсчётом среднего арифметического (X), стандартной ошибки среднего арифметического ($\pm S_x$) и достоверности при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для статистических расчётов использовали лицензионный пакет программ Stadia 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Данная работа посвящена изучению влияния полной пищевой депривации на изучаемые параметры углеводного, липидного и белкового обмена.

Таблица 1.

Влияние пищевой депривации на показатели углеводного и белкового обмена в сыворотке крови у крыс.

	Показатели углеводного и белкового обмена					
	Серия	Содержание ПВК, мкг/мл $X \pm S_x$	Концентрация глюкозы, ммоль/л $X \pm S_x$	Концентрация холестерина, ммоль/л $X \pm S_x$	Содержание общего белка, г/л $X \pm S_x$	Активность ЛДГ, мкмоль/(мин*л) $X \pm S_x$
	Контрольная группа	0,0086±0,0006 (100%)	16,22±1,14 (100%)	1,58±0,08 (100%)	58,79±6,55 (100%)	958,65±23,78 (100%) *
Пищевая депривация у крыс на срок	1 сутки	0,0019±0,0006 (22,2%) *	14,35±1,45 (88,5%)	2,15±0,13 (135,9%) *	56,07±2,17 (95,4%)*	769,49±84,83 (80,3%)
	2 суток	0,009±0,001 (107,7%)	10,06±1,23 (62,0%) *	1,56±0,22 (98,9%)	51,81±2,43 (88,2%)	1106,14±99,47 (115,4%)
	3 суток	0,0145±0,0009 (183,1%) *	14,73±0,42 (90,8%)	1,29±0,21 (81,8%)	54,44±4,17 (92,6%)	772,69±110,14 (80,6%) *
	4 суток	0,016±0,001 (183,1%) *	13,09±0,73 (80,7%) *	2,16±0,44 (136,8%) *	61,81±4,16 (105,2%)	1205,53±285,96 (125,8%)
	5 суток	0,012±0,007 (144,4%)	7,60±0,57 (46,9%) *	1,65±0,12 (104,3%)	51,81±2,43 (88,2%) *	1173,47±179,01 (122,4%)

Результаты достоверны при $p \leq 0,05$ ($n=5$).

*- достоверность рассчитана по отношению к значениям анализируемых маркеров контрольной группы (интактные крысы)

Как свидетельствуют полученные результаты (таблица 1), пятидневное нахождение крыс в указанных условиях, сопровождалось достоверным снижением концентрации глюкозы на $53,1\% \pm 0,6$ и содержания белка на $11,8\% \pm 2,4$, повышением концентрации холестерина – на $4,3\% \pm 0,1$, активности лактатдегидрогеназы на $22,4\% \pm 1,7$ и содержания ПВК – на $44,4\% \pm 0,7$. Такая различающаяся динамика вовлечения различных субстратов в метаболизм является доказательством того, что во время пищевой депривации организм подвергается стрессу. Таким образом, была подтверждена возможность пищевой депривации изменять протекание реакций липидного, белкового и углеводного обмена.

Библиографические ссылки

1. Влияние пищевой депривации на углеводный метаболизм в органах и тканях крыс / *Т.А. Косматых* [и др.] // Вестник Воронеж. гос. универс. Серия хим., биол. – 2001. – № 2. – С. 118–120.
2. Изменение биохимических показателей сыворотки крови у крыс линии вистар, перенесших хронический стресс / *К.А. Кидун* [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. 2019. - №4. – С.62-67.
3. Камышников, В.С. Справочник по клинико-биохимическим исследованиям и лабораторной диагностике / *В.С. Камышников*. – М.: МедПресс-информ, 2004. – 920.

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ПАССИВНОГО ТРАНСПОРТА КАЛИЯ НА РОСТ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА В КУЛЬТУРЕ *INVITRO*

В.С.Торгашёва

Белорусский государственный университет, г. Минск;

samokhina@bsu.by;

науч. рук. – В. В. Самохина

Известно, что калий (K^+) – наиболее обильный металл и катион в живых тканях, его содержание может достигать 10% от сухого веса растения. K^+ выполняет важные физиологические функции у растений. Поэтому поддержание гомеостаза ионов калия имеет центральное значение для растений, так как при недостатке данных ионов наблюдаются нарушения в обмене веществ. В итоге дефицит калия приводит к падению продуктивности, снижению качества урожая. Клетки растений имеют уникальные транспортные системы калия, которые выполняют определенные функции в поглощении его корнями, накоплении в вакуолях и перемещении между тканями и органами. Существенную роль в этих процессах играют K^+ -каналы. В данной работе была показана роль K^+ -каналов при выращивании различных линий *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh на средах, содержащих различные уровни калия в среде.

Ключевые слова : калий, арабидопсис, корень, ростовые тесты, K^+ -каналы.

ВВЕДЕНИЕ

K^+ является наиболее обильным элементом в растительной клетке, вовлеченным в широкий спектр метаболических превращений и регуляторных взаимодействий [1]. При наличии K^+ повышается устойчивость растений к низким температурам, засухи, засолению. Высокая и относительно стабильная концентрация K^+ в некоторых частях клеток имеет важное значение для активации ферментов, участвующих в углеводном обмене, активации и ряда ферментов цикла Кребса, стабилизации белкового синтеза, нейтрализации отрицательных зарядов на молекулах белка [2]. K^+ – главный потенциалобразующий ион в процессах электрогенеза растительной клетки, поскольку он является основой ионной асимметрии между клеткой и внешней средой. Поддержание гомеостаза ионов калия имеет центральное значение для растений, так как при недостатке данных ионов наблюдаются нарушения в обмене веществ.

Пассивный транспорт не требует, чтобы клетка расходовала энергию для осуществления транспорта. При пассивном транспорте вещества перемещаются из области с более высокой концентрацией в область с более низкой концентрацией. В связи с этим, клетки растений имеют уникальные транспортные системы калия, которые выполняют определенные

функции в поглощении K^+ корнями, накоплении его в вакуолях и перемещении между тканями и органами. K^+ -каналы подразделяются на семейства в соответствии с их структурными особенностями: 1) K^+ -селективные катионные каналы, к которым относятся потенциал-зависимые каналы Шейкер-типа и K^+ -селективные каналы с тандемной порой (ТПК); 2) неселективные катионные каналы – двухпоровые каналы (ТРС) и каналы, активирующиеся циклическими нуклеотидами (CNGC). [3]. Таким образом, целью настоящей работы являлось установление характера влияния различных уровней калия на скорость роста корней арабидопсиса дикого типа и нокаутных мутантов *gork1-1*, *akt-1*, *cngc10*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования использовались корни проростков *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. экотипа Wassilevskija (WS-0, «Wild Type») и линия *gork1-1* (отсутствует ген, кодирующий наружу-выпрямляющий K^+ -канал), а также экотип Columbia-0 (Col-0, «Wild Type») вместе с линиями *akt-1* (отсутствует ген, кодирующий внутрь-выпрямляющий K^+ -канал АКТ1) и *cngc10* (отсутствует ген, кодирующий канал, активирующийся циклическими нуклеотидами CNGC10). Растения культивировались на средах Мурасиге и Скуга с различным содержанием калия (100%, 50% и 10 %, а также с добавлением 18 Мм Na^+ в качестве контроля). Чашки с высаженными семенами выдерживались 2 суток при 4 °С в темноте, что стимулировало их выход из состояния покоя. Затем они помещались в стерильный ростовой термостат с контролируемыми условиями освещения (16 ч света и 8 ч темноты) и температурой (22 °С), где культивировались в течение 10 суток. Далее регистрировался прирост главного корня. Обработка данных проводилась при помощи программы ImageJ. Также был проведен ростовой тест с переносом растений, при котором изначально растения были посажены на 100% среду Мурасиге и Скуга, а через 5 суток происходил перенос проростков на среды следующего состава: контроль – среда МС (100% K^+), контроль (18мМ Na^+), среда МС (50 % K^+), среда МС (10% K^+). На 5 сутки после переноса регистрировался прирост главного корня, расчеты производились при помощи программы ImageJ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Было показано, что у растений дикого типа при уменьшении уровня калия на 10 % или 50% увеличивался прирост главного корня примерно на четверть. Исключение калия из среды выращивания снижало скорость

роста на 20%. У линии *gork 1-1* статистически достоверных изменений в приросте главного корня не наблюдалось (рис. 1, панель А). У растений дикого типа линии Col-0 наблюдалась схожая тенденция с WS-0, однако исключение калия имело больший эффект, тормозя рост на 50%. Нокауты катионных каналов входящего направления были менее чувствительны, особенно линия *akt-1*, так как понижение уровня калия в среде выращивания вызывало ингибирование роста основного корня арабидопсиса лишь на 20% (рис. 1, панель Б).

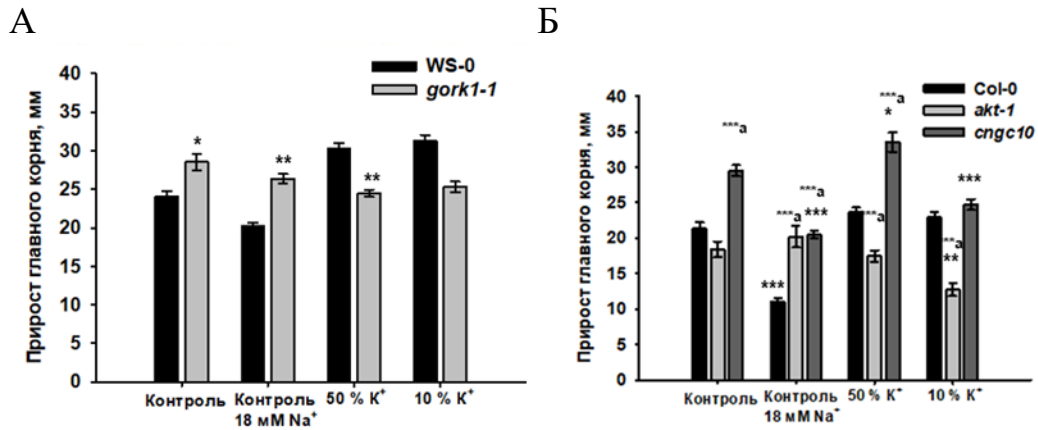


Рис.1. – Зависимость длины основного корня растений арабидопсиса различных генотипов от концентрации калия в среде выращивания. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста по отношению к контролю: *, ** и *** означают $p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$; по отношению к дикому типу: * а, ** а и *** а означают $p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ соответственно

На 5 сут после переноса растений (рис. 2) на среды с содержанием калия 50% и 10% определялись значения длины корня арабидопсиса дикого типа – ws-0 и линии *gork 1-1*, а также дикого типа Col-0 и линий *akt-1* и *cngc10*.

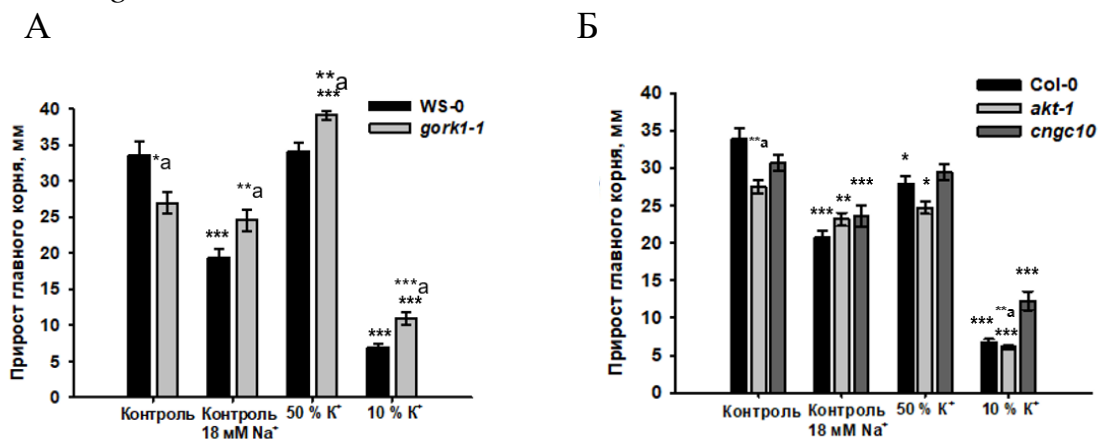


Рис.2. – Зависимость длины основного корня растений арабидопсиса на 5 день после переноса растений на среды с различным содержанием калия. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста по отношению к контролю: *, ** и *** означают $p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$; по отношению к дикому типу: * а, ** а и *** а означают

$p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ соответственно

Были отмечены схожие тенденции, что и в ростовом тесте на прорастание. Линия *gork1-1* оказалась менее чувствительна к различным уровням калия.

Таким образом, исключение калия из среды выращивания снижало скорость роста на 25-50 % у растений арабидопсиса природных экотипов, как в случае тестов на прорастание, так и при переносе растений; при выращивании растений на среде с 50% содержанием калия наблюдалось увеличение прироста главного корня; 3) растения арабидопсиса *gork1-1*, *akt-1* и *sngc10* оказались более устойчивы к воздействию дефицита калия.

Библиографические ссылки

1. White, P.J., Brown, P.H. Plant nutrition for sustainable development and global health / P.J. White, P.H. Brown // *Annals of Botany*. – 2010. – Vol. 105(7). – P. 1073–1080.
2. Prajapati, K., Modi, H.A. The importance of potassium in plant growth / K. Prajapati, H.A. Modi // *Indian Journal of Plant Sciences*. – 2012. – Vol. 1(02-03). – P. 177-186.
3. Potassium channels in plant cells / I. Dreyer [et al.] // *FEBS Journal*. – 2011. – Vol. 278. – P. 4293–4303.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ В СРАВНЕНИИ С ЕСТЕСТВЕННЫМИ МЕСТООБИТАНИЯМИ

К. А. Федоринчик

Белорусский государственный университет, г. Минск;

karina22031999@mail.ru

науч. рук – В. В. Сахвон, канд. биол. наук, доц.

В статье представлен сравнительный анализ структуры ассамблей гнездящихся птиц городских парков с таковой, лесных насаждений на территории Беларуси. На исследуемых территориях гнездование было доказано для 40–59 видов птиц. Общая плотность гнездования достигала 15,87 пар/га. Было выявлено, что структуры ассамблей гнездящихся птиц лесных насаждений и урбанизированных территорий достаточно схожи по видовому составу доминантов, доле участия в населении птиц различных экологических групп.

Ключевые слова: орнитофауна, ассамблея гнездящихся птиц, плотность гнездования, численность, парк, синурбизация, пойменные черноольховые леса, дубравы.

ВВЕДЕНИЕ

С ростом тенденции к урбанизации, площадь территорий, подвергающихся антропогенному преобразованию, растет, что приводит к сокращению естественных местообитаний большинства видов. Однако, некоторые из них смогли адаптироваться к жизни в городах и значительно увеличить свою численность здесь, благодаря наличию подходящих условий, таких как обилие корма в течение всего года, наличие благоприятных мест для гнездования [1]. Поэтому, в связи с тенденцией к синурбизации многих видов, представляется интересным сравнение организации ассамблей птиц урбанизированных территорий и лесных насаждений, так как изучение особенностей организации населения позвоночных животных, в том числе и птиц, на территориях с различной степенью антропогенной нагрузки важно для выявления закономерностей изменения структуры населения животных под воздействием различных факторов, а также для прогнозирования состояния их популяций в целом. В связи с этим целью данной работы стал анализ структуры ассамблей птиц городских парков и ее сравнение с таковой, различных типов лесов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выяснения особенностей организации ассамблей гнездящихся птиц городских зеленых насаждений были выбраны две локации на территории г. Минска. Первая – памятник природы республиканского значения «Дубрава» (далее – ППРЗ), который представляет собой фрагмент естественного растительного комплекса подзоны широколиственно-еловых лесов, где основными лесообразующими породами являются дуб черешчатый (*Quercus robur*) и ель обыкновенная (*Picea abies*) с примесью древесных экзотов [2]. Второй локацией являлся Центральный ботанический сад НАН Беларуси (далее – ЦБС) [3]. Для количественного изучения населения птиц нами был использован метод картирования гнездовых территорий на площадках. Исследования проводились в 2015–2019 гг. Плотность гнездования птиц выражалась в количестве пар/га. Основные параметры ассамблей гнездящихся птиц в условиях городских древесных насаждений сравнивались с таковыми ассамблей гнездящихся птиц пойменных дубовых и черноольховых лесов [4, 5, 6], которые представляют собой территории, на которых обитает наибольшее количество видов птиц в условиях Беларуси.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения сравнительного анализа было выяснено, что видовое богатство гнездящихся птиц в парках было несколько большим, чем в пойменных дубовых и черноольховых лесах. На территории ППРЗ на гнездовании было отмечено 47 видов, из которых ежегодно на гнездовании регистрировался 21 вид. На территории ЦБС гнездились 59 видов, тогда как ежегодно гнездились 11 видов. В то же время на учетных площадках в черноольховых лесах и дубравах было зарегистрировано гнездование 55 и 40 видов соответственно. Общая плотность гнездования птиц парковых насаждений также сравнима с таковой естественных лесов. Общая плотность гнездования на территории ППРЗ достигала 13,39 пар/га (2019 г.), в ЦБС ее самое высокое значение равнялось 8,76 пар/га (2018 г.), в то время как пределы общей плотности в дубовых и черноольховых лесах составляли 13,32 пар/га и 15,87 пар/га соответственно.

На всех территориях абсолютным доминантом во все годы являлся *Fringilla coelebs*. Плотности гнездования данного вида в городских парках сопоставимы, и даже выше, чем в естественных местообитаниях. Например, в ППРЗ его плотность гнездования достигала 2,88 пар/га (2019 г.), тогда как в черноольховых лесах она не превышала 2,2 пар/га. Статус субдоминантов на всех территориях получили *Erithacus rubecula*, *Turdus merula*, *Turdus philomelos*, *Parus major*, *Sylvia atricapilla*, *Phylloscopus*

sibilatrix, *Sturnus vulgaris*, *Phylloscopus trochilus*, *Phylloscopus collybita*. На всех территориях доли участия доминантов в населении птиц схожи и варьируются в диапазоне от 62 % до 70 %.

За последние десятилетия на территории городских парков на гнездовании появилось большое количество новых видов, которые успешно осваивают города и в некоторые годы даже входят в состав доминантов. Это экологически пластичные виды-синурбисты, например, *Turdus merula*, *Turdus philomelos*, численность которых на городских территориях сопоставима, а иногда даже выше, чем в лесах. В частности, плотность гнездования *Turdus merula* в ППРЗ и ЦБС достигает 1,29 пар/га и 0,7 пар/га соответственно, в то время как в дубравах она составила 0,7 пар/га, а в черноольховых лесах – 1,15 пар/га. Среди синурбистов также следует выделить *Columba palumbus*. В ППРЗ с начала исследований плотность гнездования данного вида возросла в 2 раза и достигла 0,46 пар/га в 2018 г., а в ЦБС с 2016 г. он входит в число доминантов, достигая плотности гнездования в 0,5 пар/га, в то время как в естественных лесах данный вид малочисленен.

На всех сравниваемых нами территориях присутствовали и виды, плотность гнездования которых в естественных местообитаниях все еще выше, чем в городских парках. Это, например, *Ficedula hypoleuca*. Данный вид гнездится в дуплах старовозрастных деревьев, и, в то время как в пойменных дубравах он входил в число доминантов с плотностью гнездования до 1,73 пар/га (незначительно уступая постоянному доминанту – *Fringilla coelebs*), на территории ЦБС его плотность гнездования достигала лишь 0,26 пар/га, а в ППРЗ в 2019 году он отсутствовал в ассамблее. *Ficedula albicollis* – схожий по экологическим предпочтениям с предыдущим вид, недавно начал осваивать территории городских парков. В дубравах его гнездовая плотность достигает 0,56 пар/га. *Prunella modularis* – вид, в своем гнездовании приуроченный к подросту и подлеску, малочисленный на территории городских парков и отсутствующий в дубравах, в черноольховых лесах достигает плотности 0,4 пар/га.

Уникальным видом, плотность гнездования которого в пойменных дубравах достигает 0,4 пар/га, является *Luscinia svecica*. В ассамблеях городских парков данный вид отсутствует, так как приурочен в своем обитании к пойменным лесам. Достаточно высокая гнездовая плотность *Sitta europaea* в черноольховых лесах (до 0,16 пар/га) и дубравах (до 0,4 пар/га) обусловлена наличием старых дубовых участков леса на данных территориях, где располагались практически все гнездовые участки данного вида [4–6]. В ЦБС плотность гнездования данного вида достигала 0,25 пар/га.

На всех территориях доминирующей экологической группой являлись виды, устраивающие гнезда в подлесочном ярусе и подросте.

Среднее значение доли участия в населении видов, гнездящихся в подлеске и подросте в ППРЗ составляет 59 %, в ЦБС – 39 %, в дубравах – 36%, а в «северных» и «южных» черноольховых лесах – 44 % и 49 % соответственно. В дубравах, ввиду наличия большого количества дуплистых деревьев, преобладают виды-дуплогнездки (доля их участия в населении – 36%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований была отмечена схожесть структуры ассамблей гнездящихся птиц городских парков с таковой, лесных насаждений, что подтверждается близостью данных территорий по видовому составу доминантов и субдоминантов, доле их участия в населении птиц, по соотношению участия в населении различных экологических групп. Тем не менее, в структуре ассамблей разных территорий наблюдаются и отличия, которые, на наш взгляд, связаны с синурбизацией отдельных видов, в результате чего доля их участия в населении птиц на урбанизированных территориях неизменно растет.

Библиографические ссылки

1. *Shochat E.* Credit or debit? Resource input changes population dynamics of city-slicker birds // *Oikos*. 2004. Vol. 106. P. 622–626. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2004.13159.x.
2. Гирилович, И. С. Памятник природы республиканского значения «Дубрава» / И.С. Гирилович, М.А. Джус, М.В. Кочергина // *Вестник БГУ Сер. 2. Химия, биология, география*. 2007. Вып. 1. С. 55–61.
3. Сахвон, В.В. Межгодовая динамика видового разнообразия птиц Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (Минск) / В.В. Сахвон, К.А. Федоринчик // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2020. Вып. 2. С. 66–74.
4. Сахвон, В.В. Структура гнездового населения воробьиных птиц пойменных дубовых лесов белорусского Полесья / В.В. Сахвон // *Беркут*. 2007. Том 16. Вып. 2. С. 169–176.
5. Сахвон В.В. Структура сообществ птиц пойменных черноольховых лесов белорусского Полесья // *Бранта: сб. научн. тр. Азово-черноморской орнитологической станции*. 2007. Вып. 10. С. 27–36.
6. Сахвон В.В. Composition and diversity of passerine bird assemblages in the floodplain deciduous forests during the breeding season (Belarus) // *Бранта: сб. научн. тр. Азово-черноморской орнитологической станции*. 2009. Вып. 12. С. 27–39.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЭКОЛОГИИ И БИОЛОГИИ ШМЕЛЕЙ (*BOMBUS*LATR.) И ШМЕЛЕЙ-КУКУШЕК (*PSITHYRUS*LEP.) НА ТЕРРИТОРИИ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.И. Хвир

Белорусский государственный университет, г. Минск

daryalauryienia@gmail.com

науч. рук. - Буга С. В., д-р. биол. наук

В результате исследования на основании сборов 2016-2020 гг. на территории Минской области зарегистрировано 23 вида шмелей и 8 видов шмелей-кукушек. Произведён анализ изменений состава и структуры фауны шмелей и шмелей-кукушек Минской области, проведенный нами, показал значительное обеднение фауны рода *Bombus*/*Psithyrus* на исследуемой территории.

Ключевые слова: Aculeata, фауна Беларуси, новая находка, опылители.

Основная масса опылителей—пчелиные, однако роль отдельных видов в опылении различных сельскохозяйственных культур неравнозначна, а в ряде случаев и вовсе ничтожна.

Как известно, адаптация части пчелиных к определенным группам растений привела к занятию различными видами пчелиных специфических экологических ниш. При этом следует помнить, что монотрофы — это виды пчелиных, закрепленные естественным отбором, в отличие от олиготрофов и, в особенности, политрофов. Завозя культурные растения в новые для них районы возделывания, человек может довольно легко черпать опылителей для этих растений из политрофных видов пчелиных местной фауны. Неудачи возможны либо в случае высокой морфологической специализации растений, опыляемых определенными олиготрофными или политрофными видами пчелиных, либо в случае, если все виды опылителей местной фауны довольно специфичны в силу сложившихся исторических причин, т.е. приспособлены к опылению совершенно другой формы — примером может служить красный клевер, завезенный в Австралию и Новую Зеландию [4, с.97].

Одомашненная медоносная пчела — третичное лесное насекомое Евразии. Она — широкий политроф, и отлично приспособлена для опыления лесных энтомофилов. Но, по мере расширения ареала медоносной пчелы, в результате ее расселения человеком, и продвижения на север южных сельскохозяйственных культур, медоносная пчела встретилась с растениями имеющие специализированные цветки, опылять которые она оказалась не в состоянии. В связи с этим, появилась необходимость искать альтернативу *Apis mellifera* [2, с. 220-245].

С 2016 по 2020 года нами изучалась фауна шмелей и шмелей-кукушек в различных районах Минской области. С целью выяснения биотопической

приуроченности отдельных видов нами были обследованы самые разнообразные биотопы: посевы культурного красного клевера, луговое разнотравье, опушки, поляны, просеки, травостой различных типов леса.

Основным из применяемых нами методов для выяснения видового разнообразия, экологии и биотопической приуроченности шмелей и шмелей-кукушек был индивидуальный сбор насекомых при помощи марлевого сачка и морилки. При этом, как правило, учитывались растения, на которых был произведен отлов, регистрировалась дата отлова, отмечались характер, биотопические и погодные условия. Полученные данные сведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные данные по составу и числу шмелей в Минской области в период 2016-2020 гг.

<i>Вид</i>	Экземпляров	%
<i>B. subterraneus</i> L.	3	0,8
<i>B. sylvarum</i> L.	21	5,6
<i>B. lucorum</i> L.	53	14,0
<i>B. pascuorum</i> Scop.	62	16,4
<i>B. subbaicalensis</i> Vogt.	1	0,3
<i>B. lapidarius</i> L.	44	11,7
<i>B. muscorum</i> L.	35	9,3
<i>B. schrencki</i> Mor	7	1,9
<i>B. humilis</i> Illiger	11	2,9
<i>B. hypnorum</i> L.	16	4,2
<i>B. terrestris</i> L.	66	17,5
<i>B. pratorum</i> L.	3	0,8
<i>B. jonellus</i> Kirby	12	3,2
<i>B. ruderarius</i> Muller	18	4,8
<i>B. pomorum</i> Panzer	6	1,6
<i>B. semenoviellus</i> Skor.	2	0,5
<i>B. confusus</i> Sch.	2	0,5
<i>B. laesus</i> Moraw.	1	0,3
<i>B. ruderatus</i> Fabr.	6	1,6
<i>B. distinguendus</i> Fabr.	1	0,3
<i>B. veteranus</i> Fabr.	1	0,3
<i>B. soroensis</i> Fabr.	2	0,5
<i>B. hortorum</i> L:	4	1,1
<i>B. serrisquama</i> F.	-	-
Всего	377	100

Большая стабильность шмелей-кукушек может быть обусловлена их паразитическим образом жизни, наличием у большинства из обнаруженных видов не одного, а нескольких видов гнездовых хозяев и, как следствие этого, значительное смягчение отрицательного воздействия антропогенных факторов на их фауну[1, с.518]. Лишь численность *P. rupestris*В., паразитирующего только в гнездах*lapidarius*, существенно уменьшилась в связи с уменьшением общего числа количества вида-хозяина.

Таблица 2

соотношение численности шмелей-кукушек в вегетационный период 2016-2020 гг.

Вид	Экземпляров	%
1. <i>P.bohemicus</i> Seide	27	21,3
2. <i>P.vestalis</i> Pour.	4	3,1
3. <i>P.rupestris</i> Fabr.	22	17,3
4. <i>P. campestris</i> Panz.	53	41,2
5. <i>P.barbutellus</i> Kirby	14	11
6. <i>P.quadricolor</i> Lep.	1	0,3
7. <i>P.sylvestris</i> Lep.	5	3,9
8. <i>P.norvegicus</i> Spa.	1	0,3
Всего	127	100

Таким образом, на основании сборов 2016-2020 гг. нами, на территории Минской области зарегистрировано 23 вида шмелей и 8 видов шмелей-кукушек. Анализ изменений состава и структуры фауны шмелей и шмелей-кукушек проведенный нами, показал значительное обеднение фауны рода *Bombus*на исследуемой территории. Так, *B. muscorum*, *B. sylvarum*, *B. ruderarius*описываемые Добротворским как массовые, встречаются нами значительно реже, а *B. muscorum*в настоящий момент занесен в Красную Книгу республики. Доминантными на территории Беларуси оказались виды шмелей *B. pascuorum*, *B. lucorum*, *B. lapidaries*, из шмелей-кукушек – *P. bohemicus*, *P. campestris*, *P.barbutellus*. К субдоминантным видам отнесены *B. sylvarum*, *B. muscorum*, *B. hypnorum*, *B. jonellus*, *B. ruderarius*. Остальные виды встречались значительно реже или в единичных экземплярах.

На основании полученных данных *B. muscorum**B.lapidarius*отнесены нами к видам преимущественно открытых пространств, *B. pascuorum* – к лесным видам, *B. lucorum*, *B. soroensis* – к эвритопным видам.

Нами отмечена большая привязанность самок и рабочих особей шмелей к бобовым растениям, в первую очередь к красному клеверу, а также

предпочтение самцов обоих исследуемых родов сложноцветных с высококорасположенными соцветиями. Главная причина, на наш взгляд, заключается в том, что соцветия этих растений, высоко расположенные стоящие в основном на открытых местах, используются самцами в качестве своеобразных «смотровых площадок» для фиксации пролетающих самок.

Библиографические ссылки

1. Пономарева, А.А. Семейство Apoidea // Определитель насекомых Европейской части СССР / А.А. Пономарева, А.З. Осычнюк, Д.В. Панфилов. – Т. 3. Перепончатокрылые, часть 1. – Москва; Ленинград: Наука, 1978. – С. 279–519.
2. Радченко В.Г., Песенко Ю.А. Биология пчел (Hymenoptera, Apoidea). – СПб.: ЗИН РАН СССР, 1994. – 350с..
3. Michener, C.D. The bees of the world / C.D. Michener. – Pasadena: The John Hopkins University press, 2007. – 913 p.
4. Williams, P.H. An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description / P.H. Williams // Bulletin of the Natural History Museum. – 1998.–№67.– pp. 79-152.

РОЛЬ ИОННЫХ КАНАЛОВ CNGC В УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА К ДЕФИЦИТУ НЕЗАМЕНИМЫХ МЕТАЛЛОВ

М.С. Цыркунович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

samokhina@bsu.by;

науч. рук. – В. В. Самохина

Микроэлементами для высших растений считаются шесть переходных металлов: медь (Cu), железо (Fe), марганец (Mn), молибден (Mo), никель (Ni) и цинк (Zn). В зависимости от количественного и качественного содержания этих металлов в почве, на которой они растут, растениям может потребоваться справиться либо с дефицитом металлов, либо с их токсичностью. Одним из путей поступления в клетку незаменимых металлов является пассивный транспорт через каналы, активирующиеся циклическими нуклеотидами (CNGC) – это неселективные катионные каналы, которые открываются после связывания с цГМФ и цАМФ. В данной работе была показана роль каналов CNGC в устойчивости растений арабидопсиса при недостатке меди и железа.

Ключевые слова: медь, железо, CNGC, корень, арабидопсис, ростовые тесты.

ВВЕДЕНИЕ

В растительном организме все процессы тесно взаимосвязаны. Исключение из питательной среды какого-либо необходимого элемента быстро вызывает изменение во многих, если не во всех, процессах метаболизма. В последнее время появляется все больше работ, посвященных металлам-микроэлементам (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn), которые необходимы в небольших концентрациях для жизнедеятельности растений [1, 2].

Медь является структурным элементом в регуляторных белках и участвует в фотосинтетическом переносе электронов, митохондриальном дыхании, реакциях окислительного стресса, метаболизме клеточной стенки и передаче сигнальных гормонов [1, 3]. Растениям требуются ионы меди в качестве основного микроэлемента для нормального роста и развития, поэтому ее дефицит вызывает у растений специфические симптомы, большинство из которых поражают молодые листья и репродуктивные органы. Железо входит в состав каталитических центров многих окислительно-восстановительных ферментов [1, 3], таких как цитохромоксидаза, нитратредуктаза, каталаза и др. Цитохромная система является необходимым компонентом дыхательной и фотосинтетической электрон-транспортной цепи. В силу этого при недостатке железа тормозятся оба этих важнейших процесса. Недостаток железа вызывает интенсивный хлороз листьев, в первую очередь молодых.

Одним из путей поступления в клетку незаменимых металлов является пассивный транспорт через каналы, активирующиеся циклическими нуклеотидами (CNGC)[4]. CNGC – это неселективные катионные каналы, которые открываются после связывания с цГМФ и цАМФ. Данные каналы расположены на плазматической мембране. Они экспрессируются в эпидермисе корней (CNGC1 и CNGC10) и листьев, где участвуют в восприятии и преобразовании сигналов окружающей среды. Роль CNGC у животных хорошо изучена и в геномах млекопитающих идентифицировано только шесть генов CNGC. В отличие от животных геном *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. кодирует 20 предполагаемых субъединиц CNGC. Хотя изучение растительных CNGC все еще находится в зачаточном состоянии, недавние исследования показали, что они выполняют ключевую роль в транспорте одно- и двухвалентных металлов. Таким образом, целью настоящей работы являлось установление роли каналов CNGC в устойчивости растений арабидопсиса при недостатке меди и железа в среде выращивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. природного экотипа Col-0 и линий *cngc1* и *cngc10*, у которых отсутствуют гены, кодирующие каналы, активирующийся циклическими нуклеотидами CNGC1 и CNGC10 соответственно. Семена обрабатывались 15 мин 20% дезинфектантом Domestos, необходимым для стерилизации и улучшения смачивания поверхности семян. Перед посадкой семена промывались в стерильной деионизованной воде. Далее семена высаживались на поверхность твердой проавтоклавированной среды стерильными зубочистками в чашки Петри, на расстоянии 1,5 см от края и 1 см друг от друга (по 10-12 семян в каждой чашке). Растения выращивались в стерильной вертикальной культуре в чашках Петри на полной среде Мурасиге и Скуга, pH 6,0, 1% сахароза, 0,35 % Phytigel (контроль) в контролируемых условиях 22°C, 16 ч свет/ 8 ч темнота. В опытных вариантах использовался такой же вариант среды, исключая один из микроэлементов. Регистрация прироста основного корня производилась на 10 сут. при помощи программы ImageJ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании влияния дефицитов меди и железа на рост основного корня *A. thaliana* с использованием техники теста на прорастание

было показано, что исключение из среды меди ингибирует рост основного корня арабидопсиса дикого типа Col-0 на 20% по сравнению с контролем, эффект исключения железа оказался сильнее и составил 30 %.

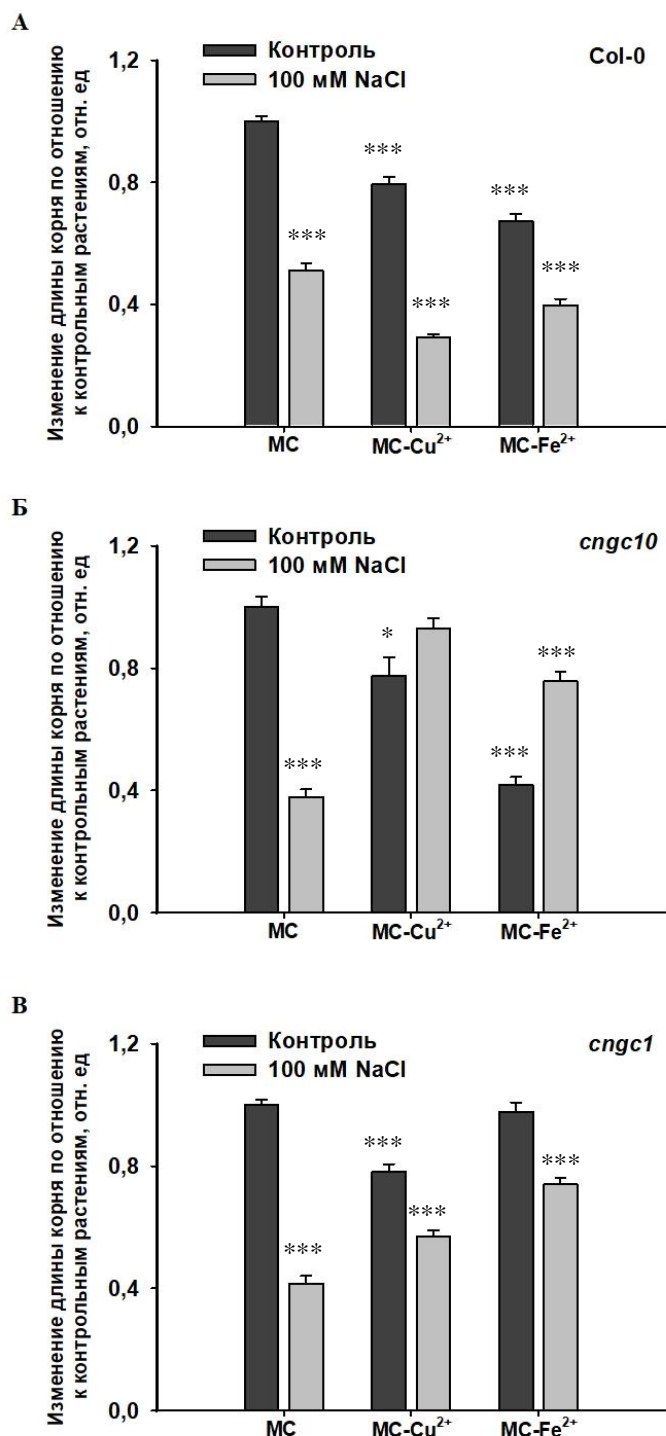


Рис. Зависимость длины основного корня арабидопсиса Col-0 (А), *sngc10* (Б) и *sngc1* (В) от микроэлементного состава среды выращивания и при добавлении NaCl. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста по отношению к контролю: *, ** и *** означают $p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ соответственно

Сходный эффект ингибирования роста корней при дефиците микроэлементов наблюдался и у растений, выращенных на среде, содержащей 100 мМ NaCl (рисунок 2 А). У нокаутной линии *sngc1* недостаток меди и железа снижает пророст основного корня на 20 % и 5 % соответственно. При воздействии 100 мМ NaCl наблюдалось 50 % ингибирование роста корня при выращивании в контрольных условиях, так и при дефиците микроэлементов, однако, варианты, в которых в дефиците были медь и железо, показали лучшие результаты, рост основного корня был ингибирован всего на 23 %. В случае мутантной линии *sngc10*, у которой отсутствует ген, кодирующий канал, активирующийся циклическими нуклеотидами CNGC10, дефицит меди снизил ростовые показатели на 24 %, а железа – на 54 %. Эта линия также оказалась более устойчива к повышенным концентрациям хлорида натрия в среде, не содержащей медь и железо.

Таким образом, нами было показано, что у арабидопсиса дикого типа при воздействии 100 мМ NaCl наблюдалось 50% ингибирование роста основного корня при выращивании проростков как на среде MS, так и на средах с дефицитом микроэлементов. Подобный эффект был обнаружен и у линии *sngc1*. Растения арабидопсиса *sngc10* оказались более устойчивы к воздействию 100 мМ NaCl при выращивании на средах с дефицитом меди и железа. Вероятно, данный канал может быть вовлечен в ответ растений на солевой стресс.

Библиографические ссылки

1. Hansch, R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl) / R. Hansch, R.R. Mendel // Current Opinion in Plant Biolog. – 2009. – Vol. 12. – P. 259-266.
2. Серегин, И. В. Распределение тяжелых металлов в растениях и их действие на рост / И. В. Серегин. – Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. – 53 с.
3. Copper in plants: acquisition, transport and interactions / Aula Dei [et al.] // Plant Physiology. – 2009. – Vol. 109. – P. 871–878.
4. Talke, I. CNGCs: prime targets of plant cyclic nucleotide signalling? / I. Talke // Trends in Plant Science. – 2003. – Vol. 8. – P. 286–293.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА СИНТЕЗА ШИКИМОВОЙ КИСЛОТЫ ШТАММАМИ *BACILLUS SUBTILIS* С ИНАКТИВИРОВАННЫМ ГЕНОМ ШИКИМАТ-КИНАЗЫ

Ю. Чао

Белорусский государственный университет, г. Минск
cygoodluck1989@gmail.com;
науч.рук. – А.В. Лагодич, канд.биол.наук, доц.

В представленной работе для штамма *Bacillus subtilis* 5434 был оптимизирован метод гиперосмотической электротрансформации. Оптимизация позволила повысить эффективность трансформации штамма *B. subtilis* 5434 в 430 раз с максимальным значением $8,6 \times 10^5$ трансформантов на мкг интегративной плазмидной ДНК. У трансформантов, получивших интегративную конструкцию был инактивирован ген шикимат-киназы, что привело к внутриклеточному повышению концентрации шикимовой кислоты и ее выделению в среду культивирования.

Ключевые слова: шикимовая кислота; ген *agoK*; гомологичная рекомбинация; электропорация (электротрансформация).

Шикимовая кислота широко востребована в фармацевтической промышленности и наиболее известна как ключевое соединение при синтезе осельтамивира – основы препарата Тамифлю, используемого при лечении гриппа. Шикимовая кислота является одним из промежуточных продуктов метаболизма в синтезе ароматических аминокислот у микроорганизмов [11]. В представленной работе у *B.subtilis* был заблокирован путь биосинтеза ароматических аминокислот после этапа получения шикимовой кислоты. Это было реализовано на штаммах *B.subtilis* 168 (восстановленный, дикий тип), *B.subtilis* 5434; *B.subtilis* 168 *trpC2* и позволила оценить эффективность этого подхода путем измерения концентрации шикимовой кислоты в ферментационной среде при различных условиях культивирования микроорганизмов и прогнозировать оптимальные условия для ее синтеза.

Целью работы являлось создание генно-инженерного штамма-продуцента шикимовой кислоты на основе различных штаммов *Bacillus subtilis*, способных к сверхсинтезу ароматических аминокислот; а так же анализ физиологического эффекта от инактивации гена шикимат-киназы у штаммов *B.subtilis*, способных к сверхсинтезу ароматических аминокислот.

В работе использовали: штамм *E.coli* X1-Blue; штаммы *B.subtilis* исходные и их производные, полученные путем гомологичной рекомбинации, приведшей к инактивации гена шикимат-киназы (*agoK* инактивирован): *B.subtilis* 168 (восстановленный, дикий фенотип) и его производный 168SA21C; *B.subtilis* 168*trpC2* и его производный 168*trpC2SA21c*;

B.subtilis 5434, характеризующийся повышенным уровнем синтеза триптофана и его производный 5434SAp4; плазмиды pMTL21C, pMUTIN4 [1], pMTL7-1 [2].

Бактериальные культуры выращивали в жидких и на плотных питательных средах LB [3]. Ферментация осуществлялась в среде: Spizizen [4] с глюкозой в различных концентрациях. Аминокислоты и основания добавляли до конечной концентрации в 25 мкг/мл. Агаризованные среды содержали 1,5 % агара.

Плазмидную ДНК из бактерий *E. coli* и *B. subtilis* выделяли методом щелочного лизиса [5], для выделения плазмид из клеток бактерий *B.subtilis* культуру плазмид содержащих бактерий выращивали при 37°C.

Трансформацию клеток бактерий *E.coli*, предварительно переведенных в состояние компетентности, проводили согласно рекомендациям, приведенным в руководстве [6]. Для трансформации использовали 100–150 нг плазмидной ДНК. В для штаммов *B.subtilis* был использован метод гиперосмотической электротрансформации [7] со следующими изменениями:

Значение OD600 нм раствора бактериальной культуры было увеличено до 1,2. Это значительно увеличило выживаемость бактерий и количество жизнеспособных клеток *B. subtilis* 5434 после электропорации.

Количество элюирований промывочного раствора (гиперосмотическая среда для электропорации) для клеток была увеличена до 5 раз, что привело к значительному снижению проводимости гиперосмотической среды с электрокомпетентной культурой и к эффективному увеличению времени импульса при той же напряженности электрического поля.

Количество интегративной плазмидной ДНК, добавляемой в гиперосмотическую электрокомпетентную культуру составляло 65 нг векторной ДНК на 60 мкл электрокомпетентных клеток.

Электрофизические параметры электропорации 25 μ F, 23 kV/cm, 200 Ω , сорбитол и маннитол включены в гиперосмотическую среду электропорации.

Для выявления шикимовой кислоты использовали жидкостной хроматограф LCMS-2020 (Shimadzu, Япония). Для анализа использовали колонки Allure C18, 4,6 мм \times 150 мм, 5 мкм), температура колонки составляла 40° С. HPLC проводили смесью метанола и муравьиной кислоты при скорости потока 0,5 мл / мин, в течение 20 мин. На рисунке 1 приведен профиль элюции при длине волны 210 нм с помощью детектора на основе фотодиодной матрицы SPD-M20A. градиент был описан в таблице 1. [8],[9],[10].

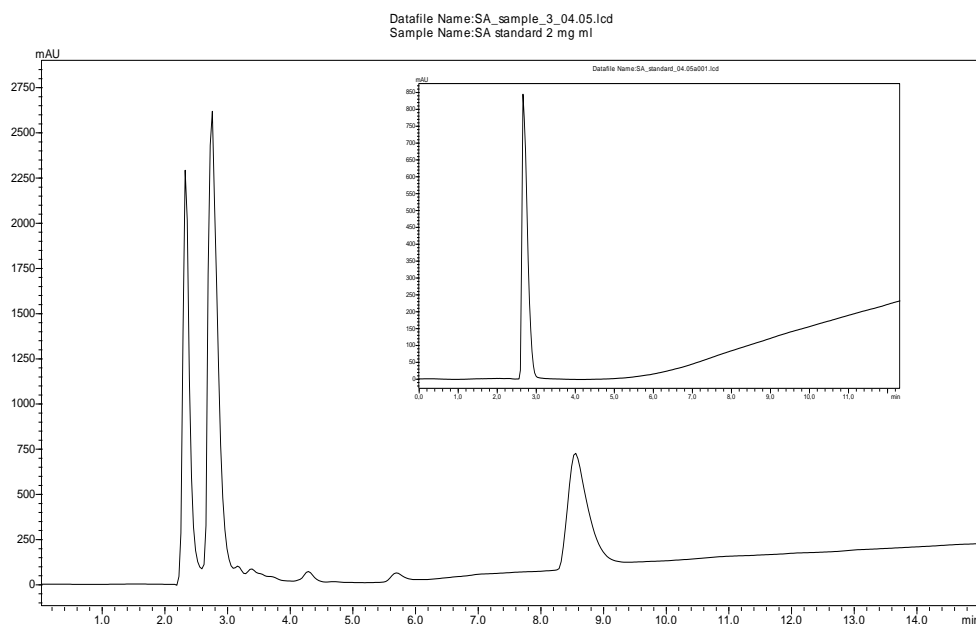


Рисунок.1. Пример хроматограммы анализируемого образца культуральной среды после 72 часов культивирования штаммов с инактивированным геном шикимат –киназы. Во вставке хроматограмма стандартного образца шикимовой кислоты (концентрация раствора стандартов шикимотной кислоты составляла 2 мг / мл).

Таблица 1.

Условие градиента мобильной фазы.

Время (мин)	H ₂ O (%)	Метанол (%)	1% муравьиная кислота (%)
0-12	88-80	2-10	10
12-13	80-0	10-90	10
13-15	0	90	10
15-20	88	2	10

Таблица 2.

Концентрация шикимовой кислоты в ферментационном среде после 72 часов культивирования штаммов *B.subtilis* с инактивированным геном шикимат-киназы.

	<i>B.subtilis</i> 168SA21c	<i>B.subtilis</i> 168trpC2SA2 1c	<i>B.subtilis</i> 5434 SAp4
Концентрация шикимовой кислоты (мкг / мл)	410,01	322,51	401,2

Изучение величин оптической плотности бактериальных культур *B.subtilis* 168, *B.subtilis* 168trpC2, *B.subtilis* 5434 и их производных *B.subtilis* 168SA21C, *B.subtilis* 168trpC2SA21C, *B.subtilis* 5434SAp4 (с инактивированным геном *AroK*) после 72 часов культивирования в 10 мл ферментационной среды позволил установить, что у штаммов *B.subtilis* 5434 и *B.subtilis* 5434SAp4 этот показатель имеет самое высокое значение (ОП=1,9-2,2) и превышает аналогичные для штаммов *B.subtilis* 168, *B.subtilis* 168trpC2 и их производных в 1,5- 2,5 раза, соответственно. Аналогичные данные были получены при определении массы бактериального осадка анализируемых культур после 72 часов культивирования в среде для ферментации (таблица 3).

Таблица 3.

Масса осадков клеток и оптическая плотность бактериальных культур различных штаммов *B.subtilis*, после 72 часов культивирования в среде для ферментации.

Наименование штамма	Масса клеток(г\л)	Оптическая плотность OD ₆₀₀
<i>B.subtilis</i> 168	8	0,8541
<i>B.subtilis</i> 168SA21C	11	1,0134
<i>B.subtilis</i> 168trpC2	18	1,2910
<i>B.subtilis</i> 168trpC2SA21c	20	1,4417
<i>B.subtilis</i> 5434	28	1,9317
<i>B.subtilis</i> 5434SAp4	34	2,2436

Повышенные ростовые характеристики, выявленные для штаммов *B.subtilis* 5434 и *B.subtilis* 5434SAp4 могут быть объяснены способностью к сверхсинтезу триптофана исходным штаммом *B.subtilis* 5434 и его низкой чувствительностью к ретроингибированию (высокими концентрациями триптофана, содержащегося в среде для культивирования), однако эта гипотеза требует дополнительной проверки и изучения.

В результате выполнения данной работы были получены штаммы с высоким уровнем синтеза шикимовой кислоты. Концентрация шикимовой кислоты в среде культивирования штаммов *B.subtilis* 168SA21C, *B.subtilis* 168trpC2SA21c, *B.subtilis* 5434SAp4 после 72 часов составляет соответственно 410 мкг / мл, 322,51 мкг / мл и 401,2 мкг / мл. Полученные результаты являются важной основой для дальнейшей оптимизации условий культивирования полученных штаммов-продуцентов шикимовой кислоты.

Библиографические ссылки

1. Vagner V., Dervyn E., Ehrlich S. D. A vector for systematic gene inactivation in *Bacillus subtilis* // *J. of Microbiology*. 1998. Vol. 144, No 11. P. 3097–3104.
2. Lagodich AV, Cherva EA, Shtanjuk YV, Prokulevich VA, Fomichev YK, Prozorov AA, Titok MA. Construction of a vector system for molecular cloning in *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*. *Mol. biol.* 2005 . 2:345–348 (in Russian).
3. Sambrook J., Fritsch E., Maniatis T. *Molecular cloning: a laboratory manual*. 2nd ed. New York: Cold Spring Harbor Lab.; Cold Spring Harbor Pub., 1989. 468 p.
4. Anagnostopoulos C., Spizizen J. Requirements for transformation in *Bacillus subtilis* // *J. of Bacteriology*. 1961. Vol. 81, No 5. P. 741–746.
5. Bron S. Plasmids // *Molecular Biological Methods for Bacillus* / ed. C. R. Harwood. Chichester, 1990. P. 75–174.
6. Sambrook J., Fritsch E., Maniatis T. *Molecular cloning: a laboratory manual*. 2nd ed. New York: Cold Spring Harbor Lab.; Cold Spring Harbor Pub., 1989. 468 p.
7. Cao GQ, Zhang XH, Zhong L, Lu ZX. A modified electro-transformation method for *Bacillus subtilis* and its application in the production of antimicrobial lipopeptides. *Biotechnol Lett*.
8. Liu DF, Guo MA, Zheng QX, Liu C, Jiang CY, Liu LX, Zhang B, Liu YM, Chen Y and Liu SJ (2014) Metabolic flux responses to genetic modification for shikimic acid production by *Bacillus subtilis* strains. *Microbial Cell Factories* 13(1): 40.
9. Chen FL, Hou KX, Li SY, Zu YG and Lei Y(2014) Extraction and chromatographic determination of shikimic acid in Chinese conifer needles with 1-benzyl-3-methylimidazolium bromide ionic liquid aqueous solutions. *Journal Of Analytical Methods In Chemistry/ P12*.
10. Çiğdem A, Burçin EÖ, Mehmet LA (2016) Quantification of shikimic acid in the methanolic extracts of three alnus taxons growing in Turkey. *Turkish Journal Of Pharmaceutical Sciences* 13(1):71-76.
11. Kramer M, Bongaerts J, Bovenberg R, Kremer S, Muller U, Orf S, Wubbolts M, Raeven L: Metabolic engineering for microbial production of shikimic acid. *Metab Eng* 2003, 5:277–283.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ В ПЕЧЕНИ И МОЗГЕ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОЛИФЕНОЛОВ ГОРЦА ПТИЧЬЕГО (*POLYGONUM AVICULARE L.*) В ОПЫТАХ *IN VITRO*

Е.В. Яцкевич, К.А. Дарашевич

Белорусский государственный университет, г. Минск;

liza.yatskevich.99@gmail.com,

науч. рук. - Н. М. Орел, канд. биол. наук, доц.

В опытах *in vitro* на гомогенатах и митохондриальных фракциях печени и мозга крыс установлено, что полифенольные соединения Горца птичьего ослабляют ряд изменений, вызванных введением эргокальциферола в дозе, оказывающей прооксидантное действие, – снижают уровень активных продуктов тиобарибитуровой кислоты, нормализуют активность супероксиддисмутазы, но практически не оказывают влияния на активность каталазы. Их эффективность в ряде случаев несколько ниже, чем α -токоферола в тех же условиях эксперимента.

Ключевые слова: антиоксиданты, перекисное окисление липидов, Горец птичий, эргокальциферол, α -токоферол, фенольные соединения.

Важнейшими компонентами нарушения антиоксидантных систем организма является активация перекисного окисления липидов и снижение активности антиоксидантных ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы и др). Известно, что фенольные соединения растений способны регулировать данные процессы, так как обладают выраженными антиоксидантными свойствами [1]. Трава горца содержит большое количество разнообразных фенольных соединений, а именно: танины, катехины, фенолкарбоновые кислоты, антрахиноны, кумарины, флавоноиды – мирицитин, кверцетин, кемпферол и др. [2]. Однако антиоксидантная активность комплекса фенолов этого растения практически не исследовалась.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа была выполнена на беспородных белых крысах самках, массой 150-180 г, находившихся на стандартном рационе вивария. Все эксперименты проводили в соответствии с этическими нормами обращения с животными в научных исследованиях (Страсбург, 1986).

Для решения поставленной задачи в гомогенаты и митохондриальные фракции печени и мозга вносили отдельно и в сочетании следующие вещества: эргокальциферол – 12,5 мкг/мл в качестве прооксиданта; фракцию фенолов Горца птичьего – 0,02 мкг/мл; α -токоферол ацетат – 1 и 5 мкг/мл в качестве эталона для сравнения с антиоксидантной активностью фракции фенолов. Определение показателей осуществляли через 30 мин

после воздействия. Контролем служили интактные гомогенаты и митохондриальные фракции соответственно. Концентрации исследуемых веществ подбирали экспериментально, а также на основании данных литературы [3] и результатов исследований других растительных экстрактов, проведенных на кафедре биохимии БГУ.

Выделение митохондрий осуществляли по методу, описанному [4]. Определение концентрации полифенольных соединений в водном экстракте горца проводили с использованием методики Фолина-Чокальтео [5]. Активность супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (Кат) определяли по [6, 7]. Концентрацию активных продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК-активных продуктов) – по методу [8]. Концентрацию белка – по методу Петерсона [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Эргокальциферол в высоких концентрациях проявляет прооксидантные свойства [10]. Поэтому, как и ожидалось, при добавлении его к гомогенату наблюдалось повышение концентрации ТБК-активных продуктов на 35,8% по отношению к контролю.

Антиоксидантные свойства токоферола хорошо известны. В многочисленных исследованиях показано, что витамин Е способен инактивировать активные формы кислорода с образованием менее «агрессивного» α -токофероксильного радикала, а также ингибировать перекисное окисление липидов [11]. Наши исследования показали, что при добавлении его к гомогенату печени количество продуктов окисления незначительно снизилось на 12,8%, а в концентрации 1 мкг/мл – на 37,2% соответственно. Внесение экстракта Горца в гомогенат печени несколько понижает (на 11,5%) концентрацию ТБК-активных продуктов. Интересно, что данное изменение качественно и количественно сопоставимо с таковым, вызванным добавлением токоферола в концентрации 5 мкг/мл. Присовместном добавлении витаминов Д₂ и Е (5 мкг/мл) или Д₂ и фенольных соединений происходит незначительное ослабление эффекта эргокальциферола – на 8% и 9,5% соответственно, а при внесении смеси витамина Д₂ и витамина Е (1 мкг/мл) уровень ТБК-активных продуктов нормализуется. При исследовании ТБК-активных продуктов в гомогенате мозга, митохондриальных фракциях мозга и печени в тех же условиях эксперимента отмечались аналогичные изменения.

Эти данные свидетельствуют о том, что эффективность токоферола как антиоксиданта зависит от его концентрации. В последующих экспериментах токоферол вносили в концентрации 1 мкг/мл.

Установлено, что при внесении в гомогенат печени крыс эргокальциферола активность СОД понижается на 22,3%, а α -токоферола или экстракта Горца – возрастает на 37,8% и 25,5% соответственно. Сочетанное действие α -токоферола и эргокальциферола приводит к увеличению активности СОД на 43% относительно эффекта D_2 , а фракции фенольных соединений и D_2 ее нормализует.

В гомогенате мозга эргокальциферол понижает активность СОД на 19%, α -токоферол ее не изменяет, а фенолы Горца – незначительно повышают. Токоферол ослабляет действие витамина D_2 , это подтверждается тем, что при совместном введении активность СОД возрастает на 38,7% по отношению к изменениям при действии D_2 . Эффект исследуемых полифенолов эргокальциферола менее выражен – активность СОД повышается незначительно (на 8,6 %).

Показано, что общая активность СОД в митохондриальной фракции печени выше, чем в гомогенате. Витамин D_2 понижает активность фермента на 19,5%, а токоферол и фракция фенолов – повышают на 54% и 15% соответственно. При сочетании Е и D_2 активность СОД повышается на 27,1%, а фенолов и витамина D_2 – возрастает незначительно относительно эффектов эргокальциферола. Аналогичные изменения исследуемого показателя отмечены при действии исследуемых веществ на митохондрии мозга.

Исследование активности Кат в гомогенате печени показало достаточно высокую степень ее устойчивости к действию эргокальциферола, фенолов и токоферола. При внесении витамина D_2 совместно с токоферолом отмечается лишь тенденция к снижению ее активности, а совместно с экстрактом фенолов Горца – небольшое повышение на 11,4%. Общая активность Кат в мозге ниже, чем в печени. При добавлении к гомогенату мозга витамина D_2 и фракции фенолов активность Кат практически не изменяется. Только при сочетанном действии витаминов D_2 и Е она несколько понижается на 15,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что эргокальциферол проявляет прооксидантные свойства, повышая концентрацию ТБК-активных продуктов, снижая активность СОД в гомогенате и митохондриях печени и мозга, однако не влияет на активность Кат в гомогенате этих тканей в опытах *in vitro*.

Полифенольные соединения Горца птичьего ослабляют ряд изменений исследуемых показателей, вызванных введением эргокальциферола, – снижают уровень ТБК-активных продуктов, нормализуют активность

СОД, но практически не оказывают влияния на активность Кат. Однако следует отметить, что их эффективность в ряде случаев несколько ниже, чем α -токоферола в тех же условиях эксперимента. Это показано при сопоставлении результатов исследований действия полифенольной фракции и токоферола в сочетании с эргокальциферолом на интенсивность процессов перекисного окисления липидов, активность СОД в печени и мозге в опытах *in vitro*.

Библиографические ссылки

1. Alov, P. Computational Studies of Free Radical-Scavenging Properties of Phenolic Compounds / P. Alov, I. Tsakovska, I. Pajeva // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. – 2015. – V. 15. – P. 85-104.
2. Granica S. Antioxidant and anti-inflammatory flavonol glucuronides from *Polygonum aviculare* L. / S. Granica [et.all] // *Fitoterapia*. – 2013. – V.91. P.180-188.
3. Traber, M.G. Vitamins C and E: Beneficial effects from a mechanistic perspective / M.G. Traber, J.F. Stevens // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2012. – Iss. 51. – №5. – P. 1000-1013.
4. Егорова М.В., Афанасьев С.А. Выделение митохондрий из клеток и тканей животных и человека: современные методические приемы // *Сибирский медицинский журнал*. – 2011. – Т.26, № 1, вып. 1. – С. 22-28.
5. Денисенко, Т.А. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу / Т.А. Денисенко, А.Б. Вишниккин, Л.П. Цыганок // *Аналитика и контроль*. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 373-380.
6. Костюк, В.А. Простой и чувствительный метод определения активности супероксиддисмутазы, основанный на реакции окисления кверцетина / Костюк, В.А., Потапович, А.И., Ковалева, Ж.В. // *Вопросы мед. Химии*. – 1990. – Т.36, №2. – С.88-91.
7. Beers, R.F. A spectrophotometric method for measuring the break-down of hydrogen peroxide by catalase / R.F. Beers, I.W. Sizer // *J Biol Chem*. – 1952. – V.195, n.1. – P.133-40.
8. Стальная И.Д. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / И.Д.Стальная, Т.Г. Гаришвили; под ред. В.Н. Ореховича // *М.: Медицина*. – 1977. – С. 66-68.
9. Peterson, G.L. A simplification of the protein assay method of Lowry et al. which is more generally applicable // *Anal. Biochem*. – 1977. – Vol. 83, № 2. – P.346-356.
10. Koren, R. Vitamin D Is a Prooxidant in Breast Cancer Cells / R. Koren [et.all] // *Cancer Res*. – 2001. – V.61, n.4. – P. 1439-1444.
11. Miyazawa, T. Vitamin E: Regulatory Redox Interactions / T. Miyazawa [et.all] // *IUBMB Life*. – 2019. – V.71, n.4. – P. 430-441.

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 2-МЕТИЛ-5-ЭТИНИЛ-2Н-ТЕТРАЗОЛА И 2-(ТРЕТ-БУТИЛ)-5-ЭТИНИЛ-2Н-ТЕТРАЗОЛА

А.А. Алейникова, Я.Н. Юркштович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

sashaleinikova@gmail.com

науч. рук. – А. В. Блохин, д-р хим. наук, проф.

В рамках приведенного исследования были получены значения стандартной энтальпии образования 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразола в состоянии жидкости, стандартных газофазных энтальпий образования 2-метил-5-этинил-2Н-тетразола и 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразола, а также рассчитаны стандартные термодинамические функции (теплоемкость, энтропия, приведенная энтальпия и энергия Гиббса) 2-метил-5-этинил-2Н-тетразола и 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразола в состоянии идеального газа.

Энергия и энтальпия сгорания 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразола в жидком агрегатном состоянии были определены методом бомбовой калориметрии сгорания. Рассчитанное с учетом поправок Уошборна [1] на базе полученных экспериментальных данных значение энтальпии образования составило $\Delta_f H_{298}^{\circ}(\text{ж}) = -(491.9 \pm 2.3) \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

Энтальпии образования 2-метил-5-этинил-2Н-тетразола и 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразола в состоянии идеального газа были определены с использованием композитного квантово-химического метода G4 [2]. Расчет осуществлялся в рамках полуэмпирического метода изодесмических реакций. Полученные значения энтальпий образования составили $\Delta_f H_{298.15}^{\circ}(\text{г}) = -(434.4 \pm 6.2) \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ и $\Delta_f H_{298.15}^{\circ}(\text{г}) = -(548.1 \pm 9.8) \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ соответственно.

Ключевые слова: 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразол; 2-(трет-бутил)-5-этинил-2Н-тетразол; энтальпия образования; энтальпия сгорания; G4; стандартные термодинамические функции.

ВВЕДЕНИЕ

Термодинамические свойства азотсодержащих высокоэнергетических соединений, таких как тетразолы, являются ключевыми характеристиками вещества. При наличии достоверных данных о термодинамических свойствах совокупности таких веществ, можно рассчитать количество энергии, высвобождаемой при разложении отдельного вещества по выбранной реакции, оценить различные структурные факторы, влияющие на выделение энергии и реакционную способность, а также установить

закономерности изменения термодинамических свойств в ряду соединений со схожей структурой. Помимо прикладного характера, немаловажным еще является и фундаментальный аспект проблемы.

Тетразолы используются для синтеза некоторых фармацевтических препаратов (например, золарсартана, валсартана и др.), в качестве лигандов для синтеза координационных соединений и в качестве компонентов ракетного топлива и некоторых взрывчатых веществ. В рамках настоящего исследования были определены энтальпии образования тетразолов в кристаллическом и газообразном агрегатных состояниях, а также выполнен расчет стандартных термодинамических функций 2-метил-5-этинил-2*H*-тетразола и 2-(*трет*-бутил)-5-этинил-2*H*-тетразола в состоянии идеального газа в температурном интервале (0 – 5000) К. Следует также отметить, что в литературе данные о термодинамических параметрах тетразолов отсутствуют, что актуализирует их определение.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Энтальпия сгорания тетразола определена в автоматическом калориметре сгорания В-08-МА («Эталон», г. Алма-Ата) с изотермической оболочкой и стационарной бомбой. Объем калориметрической бомбы – 320 см³, калориметрического сосуда – 5.250 дм³. Температуры термостатируемой оболочки калориметра и содержащейся в калориметрическом сосуде воды измерялись платиновыми термометрами сопротивления ($R = 500 \text{ Ом}$). Точность поддержания температуры термостата составляла ± 0.02 град. Энергетический эквивалент калориметра при подъеме температуры 0.81 К был определен из серии опытов по сжиганию эталонной бензойной кислоты. По результатам градуировки калориметра точность определения энтальпии сгорания оценивается в $\pm 0.02 \%$. Взвешивание платинового тигля, платиновой запальной проволоки и сжигаемых веществ производилось на электронных весах «Mettler-Toledo AG-245» с точностью до 10^{-5} г.

Для проведения опытов по сжиганию использовался свежеперегнаный тетразол. Тетразол сжигался в герметично запаянном пакете из полимерного материала, помещенном на платиновую запальную проволоку диаметром $d = 0.05$ мм. Все операции по подготовке образца к сжиганию проводились на воздухе. До начала опыта в калориметрическую бомбу добавлялся 1 см³ воды для насыщения системы водяным паром. Сжигание образца проводилось в атмосфере кислорода (~ 30 атм). Точное давление кислорода в системе определялось по разности масс пустой и заполненной калориметрической бомбы (точность взвешивания составила ± 0.02 г).

Для введения поправки на теплоту окисления азота, являющегося приместью в кислороде и входящего в состав тетразола, конденсат, образовавшийся в бомбе, количественно переносился в химический стакан и оттитровывался 0.1 н раствором NaOH.

Все данные считывались с калориметра при помощи персонального компьютера. Начальный и конечный периоды составили 20 отсчетов, а главный – 25 (интервал между отсчетами 30 с).

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Для расчета энтальпий образования тетразолов в состоянии идеального газа была составлена группа изодесмических (ИДР) реакций с участием различных производных тетразолов. Для каждой молекулы-участницы ИДР имеются надежные литературные данные по энтальпиям образования в состоянии идеального газа. С использованием ПО Gaussian 09 и композитного квантово-химического метода G4 [2] была выполнена оптимизация геометрий всех участвующих в реакциях молекул, расчет их полных энергий и наборов частот нормальных колебаний. Для учета ангармоничности колебаний был использован масштабирующий множитель $SF = 0.9854$.

Пересчет на энтальпию реакции при температуре $T = 298.15$ К выполнен с привлечением методов статистической термодинамики.

Для расчета термодинамических функций используется приближение, позволяющее представить их как сумму отдельных вкладов [3]. Для получения поступательного вклада использованы значения относительной молекулярной массы 2-метил-5-этинил-2*H*-тетразола и 2-(*трет*-бутил)-5-этинил-2*H*-тетразола рассчитанные из относительных атомных масс, взятых согласно значениям принятым ИЮПАК [4]. Для расчета вращательного вклада использовались значения произведений главных моментов инерции молекул тетразолов, вычисленные с помощью расчетной программы, на основе молекулярных данных, полученных с использованием ПО Gaussian 09, уровень теории DFT(B3LYP)/6-31G (2df,p). Колебательный вклад в термодинамические функции был получен с использованием частот, рассчитанных на уровне теории DFT(B3LYP)/6-31G (2df,p). Из общего набора частот были исключены те, что соответствуют торсионным колебаниям. Поскольку в молекулах тетразолов присутствуют волчки, то был произведен расчет вклада внутреннего вращения, в основе которого лежат данные, полученные в результате сканирования координаты, на уровне теории DFT(B3LYP)/6-31G+(2df,p) в программе Gaussian 09, которые затем аппроксимировались рядом Фурье.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения стандартных энергии и энтальпии сгорания темозоломида в состоянии жидкости составили:

$$\Delta_c U^\circ = -(4639.41 \pm 0.9) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$
$$\Delta_c H^\circ = -(4653.04 \pm 0.9) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

Значение стандартной энтальпии образования темозоломида в кристаллическом состоянии составило:

$$\Delta_f H_{298}^\circ(\text{кр}) = -(491.9 \pm 2.3) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

Усредненное значение энтальпии образования 2-метил-5-этинил-2*H*-тетразола в состоянии идеального газа, рассчитанное по методу ИДР (3 уравнения), составило:

$$\Delta_f H_{298.15}^\circ(\text{г}) = -(434.4 \pm 6.2) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

Усредненное значение энтальпии образования 2-(*трет*-бутил)-5-этинил-2*H*-тетразола в состоянии идеального газа, рассчитанное по методу ИДР (5 уравнений), составило:

$$\Delta_f H_{298.15}^\circ(\text{г}) = -(548.1 \pm 9.8) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

Полученные стандартные термодинамические функции 2-метил-5-этинил-2*H*-тетразола и 2-(*трет*-бутил)-5-этинил-2*H*-тетразола в состоянии идеального газа в температурном интервале (0 – 5000) К могут быть представлены по запросу.

Полученные значения термодинамических параметров тетразолов могут быть использованы при решении задач оптимизации процессов производства.

Библиографические ссылки

1. Washburn E.W. Standard states for bomb calorimetry // J. Res. Nat. Bur. Standards. 1993. Т. 10. С. 525.
2. Curtiss L.A., Redfern P.C., Raghavachari K. Gaussian-4 theory // The Journal of Chemical Physics. 2007. Т. 126. № 8. С. 84108. DOI: 10.1063/1.2436888.
3. Кабо, Г.Я. Термодинамика и равновесия изомеров // Г.Я. Кабо, Г.Н. Роганов, М.Л. Френкель. – Мн.: изд-во «Университетское», 1986. – 87 – 114 с.
4. Wieser M.E., Berglund M.E. Atomic weights of the elements 2007 (IUPAC Technical Report) // Pure Appl. Chem. 2009. Vol. 81, No. 11, pp. 2131–2156.

МОДИФИКАЦИЯ ФУНКЦИЙ ДЕРМАЛЬНЫХ ФИБРОБЛАСТОВ 2-ГЕКСАДЕЦЕНАЛЕМ

А. В. Богданова¹, Г. Н. Семенкова¹, А. Г. Полешко², З. Б. Квачева²,
О. И. Шадыро¹

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Институт биофизики и клеточной инженерии НАН РБ, Минск, Беларусь

bognasty23@mail.ru

науч. рук. – Семенкова Г.Н., канд. биол. наук, доц.

2-Гексадеценаль (2-ГД) – ненасыщенный жирный альдегид, который может образовываться в организме ферментативным и неферментативным путём (в условиях оксидативного стресса). Накопление 2-ГД в организме под действием факторов окружающей среды, в частности под действием УФ-излучения, может изменять функциональную активность фибробластов кожи. Установлено, что 2-ГД при экзогенном воздействии на дермальные фибробласты вызывает дозозависимое изменение редокс-активности клеток. Это выражается в уменьшении уровня восстановленного глутатиона, увеличении продукции пероксида водорода и уменьшении митохондриального мембранного потенциала. Изменение редокс-состояния фибробластов под действием 2-гексадеценала реализуется в индуцировании апоптоза.

Ключевые слова: 2-гексадеценаль; дермальные фибробласты; восстановленный глутатион; митохондриальный мембранный потенциал; апоптоз.

ВВЕДЕНИЕ

В норме в организме человека 2-ГД является продуктом необратимого ферментативного расщепления сфингозин-1-фосфата –сфинголипида, регулирующего пролиферацию и апоптоз клеток [1]. Ранее было установлено, что 2-ГД может образовываться из ряда сфинголипидов неферментативно в условиях оксидативного стресса, обусловленного действием γ -, УФ-излучения и НОС1 в результате свободнорадикальной деструкции, ключевой стадией которой является фрагментация N-центрированных радикалов [2].

Важными компонентами кожи являются фибробласты, преимущественно локализованные в дермальном слое. Клетки кожи богаты различными сфинголипидами, такими как церамиды, сфингозин и сфингозин-1-фосфат [3]. Мы предположили, что накопление 2-ГД в результате свободнорадикальной фрагментации сфинголипидов под действием УФ-излучения, в этих клетках будет влиять на их функционирование. В настоящей работе исследовано влияние 2-ГД на функции дермальных фибробластов, а именно: на генерацию клетками пероксида водорода, изменение уровня

восстановленного глутатиона и митохондриального мембранного потенциала, а также на инициирование апоптотических процессов.

Материалы и методы. Уровень восстановленного глутатиона (GSH) в фибробластах определяли с помощью флуоресцентного зонда монохлоробимана (МСВ, $\lambda_{ex} = 390$ нм, $\lambda_{em} = 480$ нм). Результаты представлены как отношение уровня GSH в клетках в присутствии 2-ГД к уровню GSH в контрольном образце. Способность клеток генерировать H_2O_2 оценивали с использованием флуоресцентного зонда H_2DCFDA (2',7'-дихлородигидрофлуоресцеина диацетат). Величину митохондриального мембранного потенциала определяли с использованием флуоресцентного зонда JC-1 ($\lambda_{ex}=490$ нм, $\lambda_{em}=530, 590$ нм). В качестве положительного контроля к суспензии клеток добавляли разобщитель дыхательной цепи – карбонилцианид 4-(трифлуорометокси)фенилгидразона (FCCP). Отношение интенсивностей флуоресценции при 590 и 530 нм (I_{590}/I_{530}) пропорционально величине митохондриального мембранного потенциала. Апоптоз клеток оценивали с помощью набора Annexin V-FITC Apoptosis Detection Kit, согласно методике [4]. Интенсивность флуоресценции регистрировали на спектрофлуориметре CM2203 «Solar» (Беларусь). Апоптоз исследовали на проточном цитофлуориметре BD FACSCanto II (Becton Dickinson, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Восстановленный глутатион (GSH) является чувствительным маркером оксидативного стресса. Уменьшение содержания GSH в клетках связано с ростом продукции активных форм кислорода и является сигналом к индукции апоптоза путем активации рецепторов смерти либо запуска митохондриального апоптотического пути [5]. На рис. 1 показано влияние 2-ГД в диапазоне концентраций от 10 до 100 мкмоль/л на уровень восстановленного глутатиона (GSH) в фибробластах.

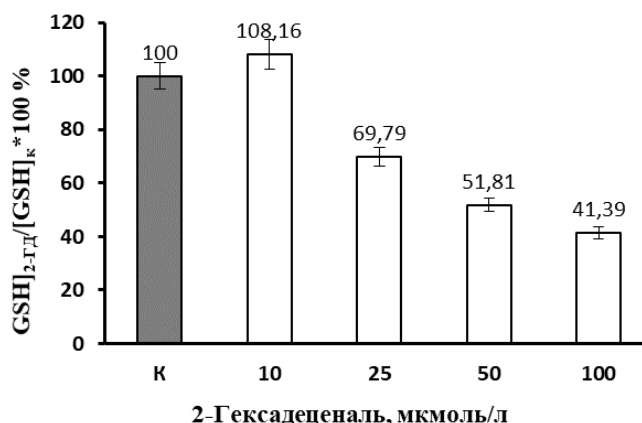


Рис.1 – Влияние 2-гексадеценаля на уровень восстановленного глутатиона в фибробластах

Видно, что в концентрации 10 мкмоль/л этот альдегид не оказывает влияния на уровень GSH в клетках. Инкубирование фибробластов с 2-ГД в концентрациях 25, 50 и 100 мкмоль/л приводит к дозозависимому снижению регистрируемого параметра.

Усиление генерации H_2O_2 также может быть обусловлено изменением редокс-активности фибробластов, что связано с нарушением функционирования митохондрий. Из рис. 3 видно, что 2-ГД в концентрациях 10 и 25 мкмоль/л не влияет на митохондриальный мембранный потенциал. Добавление этого альдегида в концентрациях 50 и 100 мкмоль/л приводит к снижению величины мембранного потенциала митохондрий.

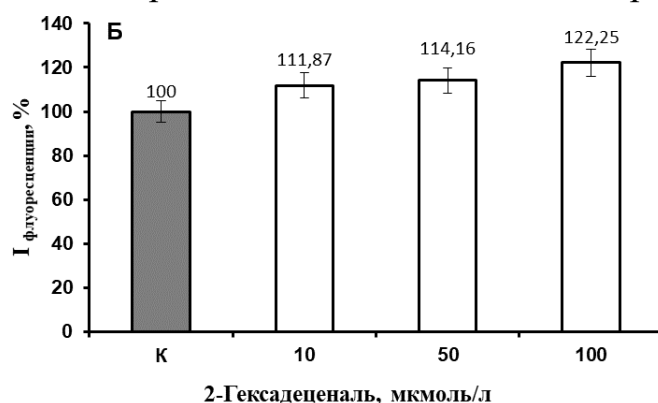


Рис. 2 – Влияние 2-гексадеценала на продукцию H_2O_2 фибробластами

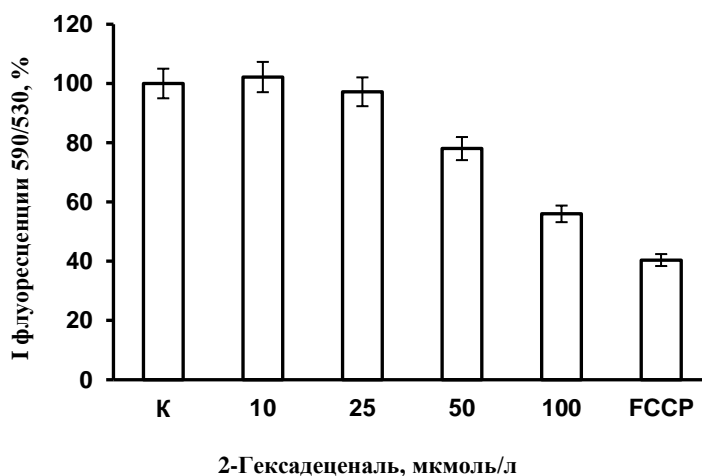


Рис. 3 – Влияние 2-гексадеценала на митохондриальный мембранный потенциал фибробластов

Одной из причин снижения митохондриального мембранного потенциала может быть индуцирование апоптоза. Из рис. 4 видно, что инкубирование клеток с 10 мкмоль/л 2-ГД в течение 4 ч не влияет на апоптотические процессы в этих клетках. В то же время, обработка клеток 50 и 100 мкмоль/л этого альдегида приводит к снижению количества живых клеток. При этом возрастает число клеток в стадиях раннего и позднего апоптоза.

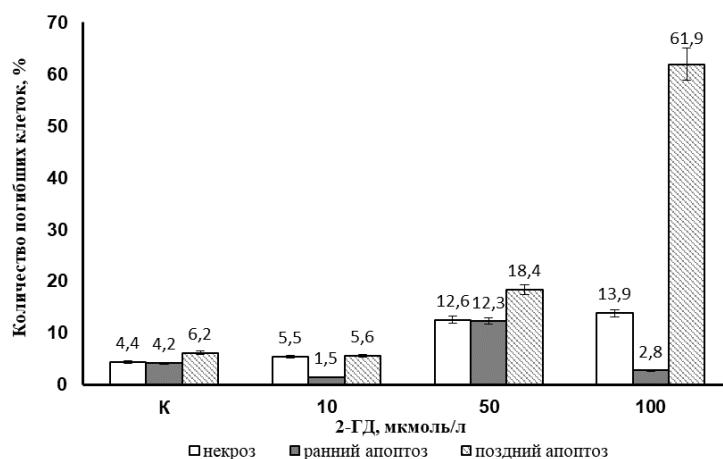


Рис.4 – Апоптоз фибробластов при действии 2-гексадеценаля

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из полученных данных следует, что при действии 2-гексадеценаля на фибробласты наблюдается дозозависимое изменение редокс-активности дермальных фибробластов. Это выражается в уменьшении уровня восстановленного глутатиона в цитоплазме клеток, увеличении продукции пероксида водорода и уменьшении митохондриального мембранного потенциала. Изменение редокс-состояния фибробластов под действием 2-гексадеценаля реализуется в индуцировании апоптоза.

Библиографические ссылки

1. Hannun Y.A., Obeid L.M. Sphingolipids and their metabolism in physiology and disease // *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2018. Vol. 19(3). P. 175–191.
2. Shadyro O. et. al Free-radical destruction of sphingolipids resulting in 2-hexadecenal formation // *Lipid insights.* 2015. Vol. 8. P. 1–9.
3. Driskel R., Watt F. Understanding fibroblast heterogeneity in the skin // *Trends in Cell Biology.* 2015. Vol. 25 (2). P. 92–99.
4. Ishaque A., Al-Rubeai M.; ed. Pörtner R. Measurement of apoptosis in cell culture // *Methods in biotechnology, animal cell biotechnology: methods and protocols*, 2nd ed. Totowa, 2007. P. 285–299.
5. Circu M.L., Aw T.Y. Glutathione and modulation of cell apoptosis // *Biochim. Biophys. Acta.* 2012. Vol. 1823. P. 1767–1777.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ 1,4-ДИЗАМЕЩЕННЫХ 1H-1,2,3-ТРИАЗОЛОВ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

К. М. Вербило

*Белорусский государственный университет, г. Минск
cyril.verbilo@gmail.com; alex.zuraev@gmail.com
науч. рук. – А. В. Зураев, канд. хим. наук, доц.*

Методами молекулярного моделирования и докинга был исследован возможный механизм антибактериальной активности синтезированных 1,4-дизамещенных 1H-1,2,3-триазолов по отношению к штамму *E.coli* ATCC 25922. Была определена антибактериальная активность синтезированных соединений и предложен механизм их антибактериального действия. Установлены особенности белок-субстратных взаимодействий между мишенью антибактериального действия и исследованными соединениями, *определяющие дальнейшее направление дизайна новых эффективных антибактериальных препаратов на основе 1H-1,2,3-триазолов.*

Ключевые слова: 1H-1,2,3-триазолы, клик-синтез, микробиологическая активность, молекулярный дизайн, молекулярный докинг, *Escherichia coli*.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое и разностороннее развитие человечества в последние два столетия, предъявляет новые требования к различным сферам естествознания, в том числе и к медицинской химии. Борьба с рядом заболеваний и патологических состояний человека, которые являются основными причинами смертности людей постиндустриального общества, требует как создания новых эффективных лекарственных средств (ЛС), так и поиск новых концепций разработки и модификации существующих биологически активных соединений [1].

Среди актуальных проблем здравоохранения одной из наиболее серьезных является постепенно увеличивающаяся резистентность бактерий, грибов и протистов к современным противомикробным препаратам. Одним из наиболее распространённых возбудителей инфекционных заболеваний, проявляющий высокую резистентность к химиотерапевтическому лечению, является штамм патогенного микроорганизма *E.coli*. В связи с этим, несмотря на наличие широкого спектра применяемых антимикробных препаратов, разработка новых более эффективных антимикробных средств остается актуальной задачей.

Гетероциклические соединения являются наиболее перспективными веществами в рамках создания новых антимикробных ЛС ввиду их разнообразных химических и электронных свойств, геометрических характеристик и широкого спектра биологической активности [2]. Особое значение

среди данного класса соединений приобрели производные 1*H*-1,2,3-триа-зола, для которых в начале XXI века были открыты относительно простые способы получения по реакции медь-катализируемого азид-алкинового [3+2]-циклоприсоединения (CuAAC), значительно расширившего возможности применения данных соединений в создании новых ЛС [3]. В то же время современные методы молекулярного моделирования позволяют упростить процесс создания ЛС, однако для своего корректного использования требуют данные о механизме действия потенциальных лекарственных средств.

Таким образом, целью данной работы является установления механизма антибактериальной активности по отношению к штамму *E.coli* ATCC 25922 синтезированных 1,4-дизамещенных 1*H*-1,2,3-триазолов методами молекулярного моделирования. Знание механизма биологической активности данных соединений позволит определить дальнейшее направление их функционализации для создания новых эффективных лекарственных средств.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследуемые соединения (**1–12**) были получены по реакции CuAAC (Рис. 1). Биологическая активность данных соединений была установлена методом измерения диаметра зоны угнетения роста микроорганизма *E.coli* ATCC 25922. Соединения **1–5**, **9–12** не проявляют более выраженной антимикробной активности, чем широко применяющийся для лечения воспалительно-гнойных заболеваний антибиотик «Цефотаксим» в сопоставимой с соединениями **1–12** концентрации, однако соединения **6–8** проявляют активность, близкую к антибиотику «Цефотаксиму». Так как данные соединения могут быть легко функционализированы с помощью реакции CuAAC, нами было проведено исследование их возможного механизма действия.

Мишенями большинства применяемых в настоящее время антибактериальных препаратов являются белки биосинтеза пептидогликана – компонента клеточной стенки микроорганизмов [4]. В результате сопоставления структур типичных ингибиторов ферментов, участвующих в данном процессе, было выявлено, что электронные и геометрические параметры структур соединений **1–12** наиболее близки к ингибиторам белка MurB – уридиндифосфат-N-ацетиленолпирувил-глюкозамин редуктазы. В соответствии с данной закономерностью, нами была сформулирована гипотеза, что механизм антибактериального действия исследуемых соединений **1–12** может быть обусловлен их взаимодействием с белком MurB.

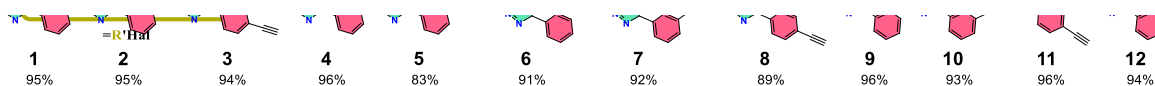


Рис. 1. Схема синтеза соединений 1–12

Геометрическая структура белка была генерирована с помощью сервиса SWISS-MODEL [5]; дальнейший докинг был проведен с использованием программы AutoDock 4.2.6[6]. Анализ полученных в результате докинга конформаций показал, что все соединения связываются с белком одинаковым образом, образуя несколько водородных связей с остатком ARG159 – остатком, важным для связывания нативного субстрата белка (Рис. 2). Энергия связывания белка и соединений 1–12 хорошо коррелирует с экспериментальными данными по антимикробной активности данных соединений (Рис. 2):

$$A_{E.coli} = 0,639 \times |\Delta G_A| - 0,766, R^2 = 0,862$$

где $A_{E.coli}$ – удельная активность вещества по отношению к определенному микроорганизму, $|\Delta G_A|$ – модуль энергии связывания вещества и белка, R^2 – коэффициент линейной аппроксимации.



Рис. 2. Конформации соединений 2, 8 и 9 в активном центре белка и график корреляции энергии связывания и удельной активности соединений 1–12

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящей работы был проведен синтез и микробиологических испытания ряда 1,4-дизамещенных 1*H*-1,2,3-триазолов. Было установлено, что соединения 1–12 проявляют антимикробную активность в отношении грамотрицательной культуры *E. coli* ATCC 25922. На основании электронных и геометрических свойств полученных соединений была определена предположительная мишень их антибактериального действия – белок MurB. На основании полученных в результате докинга конформаций представительного ряда 1,4-дизамещенных 1*H*-1,2,3-триазолов в активных центрах белка MurB микроорганизма *E.coli* ATCC 25922 установлены белок-субстратные взаимодействия, определяющие антибактериальную активность соединений 1–12. В частности, с увеличением размеров липофильных заместителей в триазольном цикле значение рассчитанной активности возрастает, что соответствует данным полученным *in vitro*.

Рассчитанные значения энергий связывания для изученных 1,4-дизамещенных 1*H*-1,2,3-триазолов хорошо коррелируют с их экспериментально определённой антибактериальной активностью, что позволяет ис-

пользовать установленные особенности соответствующих белок-субстратных взаимодействий для целенаправленного дизайна новых эффективных антибактериальных препаратов на основе 1*H*-1,2,3-триазолов.

Библиографические ссылки

1. *Fonkwo P.N.* Pricing infectious disease. The economic and health implications of infectious diseases / *P.N. Fonkwo* // EMBO rep. – 2008. – Vol. 9. – P. S5–S22.
2. The impact of click chemistry in medicinal chemistry / *J. Hou* [et al.] // Expert Opin. Drug Discov. – 2012. – Vol. 7, № 6. – P. 489–501.
3. Multicomponent click synthesis of 1,2,3-triazoles from epoxides in water catalyzed by copper nanoparticles on activated carbon / *F. Alonso* [et al.] // J. Org. Chem. – 2011. – Vol. 76. – P. 8394–8405
4. *Kotnik M.* Development of novel inhibitors targeting intracellular steps of peptidoglycan biosynthesis / *M. Kotnik, P.S. Anderluh, A. Prezelj* // Curr. Pharm. Des. – 2007. – Vol. 13, № 22. – P. 2283–2309.
5. SWISS-MODEL: homology modelling of protein structures and complexes / *A. Waterhouse* [et al.] // Nucleic Acids Res. – 2018. – Vol. 46, № W1. – P. W296–W303.
6. AutoDock4 and AutoDockTools4: automated docking with selective receptor flexibility / *G.M. Morris* [et al.] // J. Comput. Chem. – 2009. – Vol. 30, № 16. – P. 2785–2791.

РЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КЛЕТОК КРОВИ ПАЛЬМИТОКСИАЦЕТОНОМ

Вергун О.Д., Лавор В.Д., Новицкий И.А., Семенкова Г.Н.,
Амаэгбери Н.В., Шадыро О.И.

Белорусский государственный университет, г. Минск

oliaria@mail.ru

науч. рук. – Амаэгбери Н.В., канд. биол. наук

В работе изучено влияние пальмитоксиацетона на функции клеток крови. Установлено, что этот кетон регулирует продукцию H_2O_2 нейтрофилами и мононуклеарами, в зависимости от концентрации способен вызывать деполяризацию митохондриальной мембраны клеток, является индуктором агрегации тромбоцитов и нейтрофилов.

Ключевые слова: агрегация; генерация H_2O_2 ; мононуклеары; нейтрофилы; пальмитоксиацетон; тромбоциты.

Пальмитоксиацетон (ПА) – жирный кетон, образующийся в организме в результате свободнорадикальной фрагментации лизофосфолипидов. Биологическая роль этого кетона не изучена. Ферментативные системы, приводящие к накоплению этого соединения не известны. Лизофосфолипиды образуются в результате катализируемого фосфолипазами A_2 гидролиза глицерофосфолипидов, локализованных в биологических мембранах и в липопротеинах.

Ранее на кафедре радиационной химии и химико-фармацевтических технологий показано, что взаимодействие лизофосфатидилхолина с активными формами кислорода и хлора (АФК) сопровождается фрагментацией липидной молекулы с образованием ПА [1]. Основным источником АФК в организме являются нейтрофилы и моноциты. Эти клетки мигрируют в очаг воспаления, и уничтожают патогены, генерируя АФКХ [2]. Продукция АФКХ фагоцитами может приводить к фрагментации лизолипидов клеточных мембран с образованием ПА. Этот кетон может проявлять биологическую активность в отношении клеток, в первую очередь клеток крови, и модифицировать их свойства.

Цель работы: изучить механизмы влияния ПА на функции клеток крови.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы: декстран, гистопак-1077, иодида пропициум (PI), 2',7'-дихлородигидрофлуоресцеин диацетат ($H_2DCF-DA$), JC-1 (5,5',6,6'-тетралоро-1,1',3,3'-тетраэтил-бензамидозолокарбоцианин йодид), *Micrococcus lysodeikticus* («Sigma», США), компоненты для приготовления фосфатного буферного раствора (ФБР) и сбалансированного буферного

солевого раствора Эрла (СБСРЭ) («Анализ Х, Беларусь»). ПА синтезирован на кафедре радиационной химии и химико-фармацевтических технологий.

Методы: нейтрофилы, мононуклеары и тромбоциты выделяли из крови здоровых людей по стандартной методике [3]. Выживаемость клеток оценивали флуоресцентным методом с использованием йодида пропидиума ($\lambda_{\text{возб}} = 530$ нм, $\lambda_{\text{рег}} = 640$ нм) [4]. Генерацию H_2O_2 нейтрофилами и мононуклеарами изучали с помощью флуоресцентного зонда $\text{H}_2\text{DCF-DA}$ ($\lambda_{\text{ex}} = 488$ нм, $\lambda_{\text{em}} = 530$ нм) [5]. Секреторную дегрануляцию определяли по выходу лизоцима из клеток [6]. Активность лизоцима в супернатанте определяли по скорости лизиса клеточных стенок бактерий *Micrococcus lysodeikticus* спектрофотометрическим методом ($\lambda = 450$ нм). Изменение митохондриального потенциала клеток ($\Delta\Psi_{\text{m}}$) оценивали с помощью флуоресцентного зонда JC-1 ($\lambda_{\text{ex}} = 490$ нм, $\lambda_{\text{em}} = 530$ нм, 590 нм) [7]. Агрегацию тромбоцитов измеряли оптическим методом по изменению светопропускания клеточной суспензии [8]. Агрегацию клеток индуцировали арахидоновой кислотой в случае нейтрофилов и АДФ либо тромбином в случае тромбоцитов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведена оценка токсичности ПА в отношении нейтрофилов и мононуклеаров. Установлено, что инкубирование клеток с исследуемым кетоном в течение 30 мин и 4 ч в широком диапазоне концентраций (0,1-100 мкмоль/л) не оказывает влияния на их выживаемость. Таким образом, ПА не вызывает гибель клеток по механизму некроза.

Изучено влияние ПА на способность лейкоцитов продуцировать H_2O_2 (рис.1). Основным источником АФК в нейтрофилах и моноцитах является НАДФН-оксидаза. При активации этих клеток к фагоцитозу происходит сборка мультиферментного НАДФН-оксидазного комплекса в плазматической мембране и генерация $\text{O}_2^{\cdot-}$. Образующиеся супероксидные анион-радикалы подвергаются реакции дисмутации, катализируемой супероксид-дисмутазой, с образованием пероксида водорода. На рисунке 1 А представлены результаты влияния ПА в диапазоне концентраций 0,1-100 мкмоль/л на продукцию H_2O_2 нейтрофилами, стимулированными к фагоцитозу хемотаксическим пептидом fMLP. Видно, что предварительное инкубирование клеток с ПА в концентрации 0,1 мкмоль/л не влияет на продукцию H_2O_2 нейтрофилами. При увеличении концентрации этого кетона до 1 и 10 мкмоль/л наблюдается повышение генерации H_2O_2 на 28 и 31 % по сравнению с контрольным образцом. Инкубирование клеток с ПА в концентрации 100 мкмоль/л приводит к снижению продукции H_2O_2 на 29%.

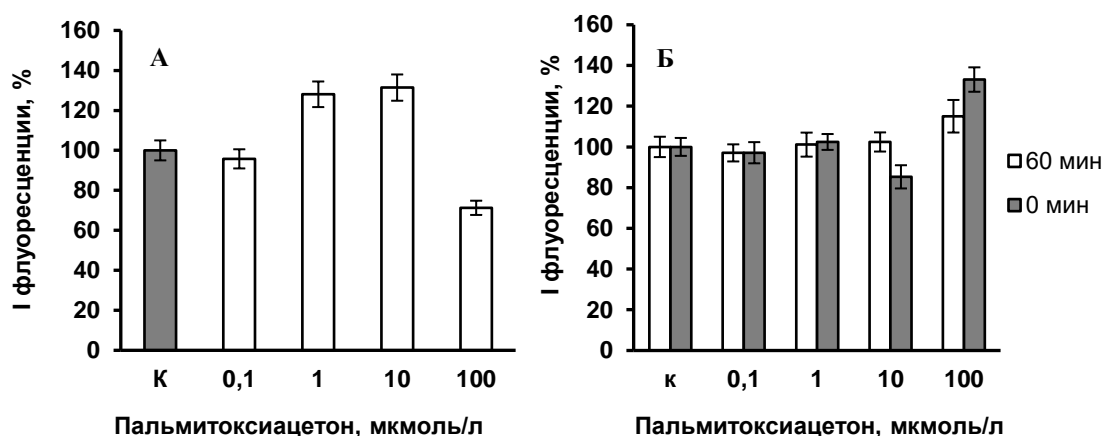


Рис.1 – Влияние пальмитоксиацетона на продукцию H_2O_2 нейтрофилами (А) и мононуклеарами (Б)

В случае мононуклеаров (рис.1 Б), генерацию H_2O_2 оценивали сразу после добавления ПА (0 мин) и после инкубирования с добавками в течение 1 ч (60 мин). Видно, что ПА в концентрации 0,1 мкмоль/л не влияет на генерацию H_2O_2 мононуклеарми. В отсутствие инкубирования добавление 10 мкмоль/л этого кетона приводит к снижению (на 15 %), 100 мкмоль/л – к увеличению продукции H_2O_2 клетками. Инкубирование мононуклеаров с ПА в концентрации 100 мкмоль/л в течение 60 мин приводит к росту продукции H_2O_2 клетками на 15 %.

Важным свойством нейтрофилов является секреторная дегрануляция – высвобождение во внеклеточное пространство гранул, содержащих антимикробные белки, в том числе миелопероксидазу. Установлено, что ПА в широком диапазоне концентраций не усиливает этот процесс.

Важным источником АФК в клетке являются митохондрии. Рост генерации АФК митохондриями может привести к окислительному повреждению митохондриальных белков и ДНК. Для того, чтобы определить влияние ПА на состояние митохондрий нейтрофилов и мононуклеаров нами была оценена величина митохондриального мембранного потенциала в этих клетках (рис. 2). Видно, что добавление ПА в концентрации 0,1 и 1 мкмоль/л к суспензии нейтрофилов не влияет, а в концентрациях 10 и 100 мкмоль/л приводит к снижению $\Delta\Psi_m$ на 14 и 23 % соответственно. В случае мононуклеаров снижение величины $\Delta\Psi_m$ происходит при добавлении ПА в изучаемом диапазоне концентраций.

Нами изучено влияние ПА на агрегацию нейтрофилов и тромбоцитов. Установлено, что ПА в концентрации 10 мкмоль/л усиливает агрегацию тромбоцитов в ОТП при инкубировании с добавками в течение 10 и 20 мин. При добавлении ПА к тромбоцитам, выделенным из плазмы, агрегация клеток не изменяется.

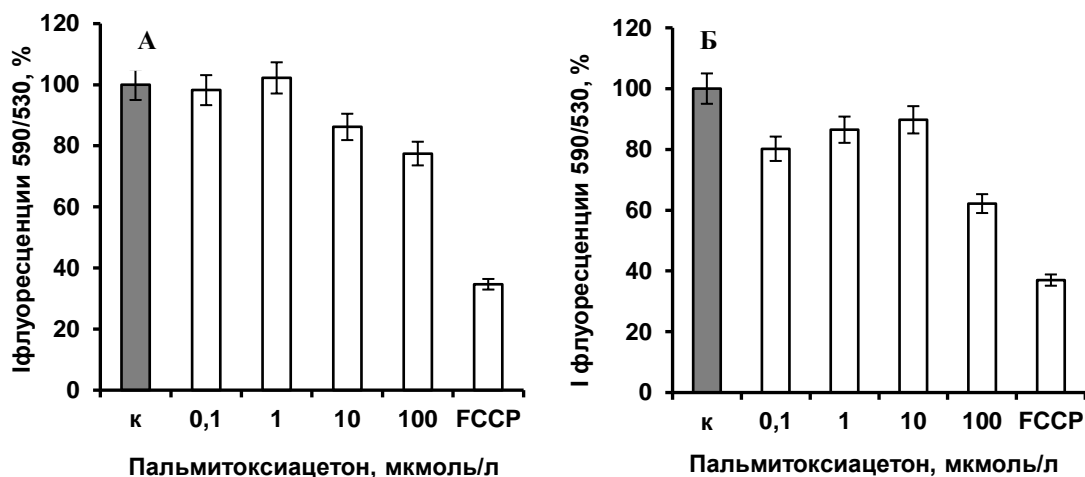


Рис. 2 – Влияние пальмитоксиацетона на величину митохондриального мембранного потенциала в нейтрофилах (А) и мононуклеаров (Б)

Инкубирование нейтрофилов с ПА в течение 10 мин приводит к усилению агрегации клеток, индуцированной арахидоновой кислотой.

Можно заключить, что ПА, в зависимости от концентрации, является регулятором функциональной активности клеток крови.

Библиографические ссылки

1. Shadyro O., Samovich S., Edimecheva I. Free-radical and biochemical reactions involving polar part of glycerophospholipids // *Free Rad. Biol. Med.* 2019. Vol. 144. P. 6–15
2. Kolaczowska E., Kubes P. Neutrophil recruitment and function in health and inflammation // *Nat. Rev. Immunol.* 2013. Vol. 13(3). P. 159–175.
3. Böyum A. Isolation of lymphocytes, granulocytes and macrophages // *Scand. J. Immunol.* 1976. Vol. 5. P. 9–15.
4. Kato F., Tanaka M., Nakamura K. Rapid fluorometric assay for cell viability and cell growth using nucleic acid staining and cell lysis agents // *Toxicol. in Vitro.* 1999. Vol. 13. P. 923–929.
5. Grisham M.B. Methods to detect hydrogen peroxide in living cells: Possibilities and pitfalls // *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2013. Vol. 165(4). P. 429–438.
6. Shugar D. The measurement of lysozyme activity and the ultra-violet inactivation of lysozyme // *Biochim. Biophys. Acta.* 1952. Vol. 8. P. 302–309
7. Sivandzade F., Bhalerao A., Cucullo L. Analysis of the mitochondrial membrane potential using the cationic JC-1 dye as a sensitive fluorescent probe [Electronic resource] // *Bio Protoc.* 2019. Vol. 9 (1).
8. Козловский, В.И. Методы исследования и клиническое значение агрегации тромбоцитов. Фокус на спонтанную агрегацию // *Вестник ВГМУ.* 2013. Том 12, №4. С. 79–91.

ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И БЕЛОК-ЛИГАНДНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО РОТОРА НА ОСНОВЕ БОРДИПИРРОМЕТЕНА

Дудко А. Р

*Белорусский государственный университет;
chem.dudkoAR@gmail.com;*

науч. рук. — Хорецкий М. С.; Фалетров Я. В. — канд. хим. наук, доцент

Получено и охарактеризовано флуоресцентное производное бордипиррометена (8-фенил-4,4-дифторо-4-боро-3а,4а-диазо-S-индацен). Соединение представляет собой флуоресцентный молекулярный ротор (ФМР), параметры флуоресценции которого значительно зависят от показателей микроокружения. Рассмотрена зависимость интенсивности флуоресценции соединения от вязкости и состава среды при связывании его с белком бычьим сывороточным альбумином. Полученные данные важны для изучения ФМР на основе бордипиррометена и использования их в качестве флуорогенных зондов для анализа различных параметров сред, в том числе живых клеток.

Ключевые слова: BODIPY; молекулярный ротор; флуоресценция; альбумин; молекулярный докинг.

ВВЕДЕНИЕ

Производные бордипиррометена (BODIPY) являются известными флуорофорами для создания красителей, меток и зондов. Использование BODIPY обуславливается их оптическими свойствами, небольшими молекулярными размерами и приемлемой стабильностью в биологических средах [1]. Одним из применений BODIPY является получение на их основе флуоресцентных молекулярных роторов (ФМР), применяемых для анализа некоторых характеристик микроокружения молекул [2]. Фрагменты ФМР способны претерпевать свободное вращение относительно друг друга и, как правило, составляют единую систему сопряжения молекулы. Наличие такого свободного вращения заместителей понижает общую жёсткость системы и увеличивает вероятность безизлучательной релаксации, что влияет на величину квантового выхода флуоресценции (Φ). Нахождение ФМР в средах, способных влиять на внутримолекулярное вращение, оказывает эффект и на оптические свойства ФМР [3]. Это обуславливает интерес к ФМР, как к зондам, имеющим отклик на изменение таких параметров среды как вязкость, диэлектрическая проницаемость и т.д.

В данной работе получен и охарактеризован BODIPY ФМР, не содержащий дополнительных заместителей в структуре флуорофора. Рассмотрено влияние вязкости среды на интенсивность эмиссии флуоресценции ($I_{\text{фл}}$) соединения. Для оценки возможности применения такого BODIPY

ФМР в изучении белок-лигандных взаимодействий показана возможность его связывания с белком бычьим сывороточным альбумином (BSA), возможные сайты связывания предсказаны с помощью молекулярного докинга.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и методы

Все реагенты поставлены Sigma Aldrich. Колоночная хроматография проводилась с использованием силикагеля с размером частиц 63-200 мкм в качестве стационарной фазы. Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) регистрировались на приборе Bruker Avance 500 МГц в дейтерохлороформе (CDCl_3). Спектры поглощения и эмиссии флуоресценции соединений записаны на спектрофлуориметре SOLAR CM2203.

Для титрования белок и лиганд были растворены в 1мМ фосфатном буфере с добавлением 5% N, N-диметилформамида. Кристаллическая структура BSA взята из базы данных белков RCSB Protein Data Bank (4f5s). Молекулярный докинг осуществлялся с помощью программного пакета MGLTools 1.5.6. и AutodockVina. Структура лиганда предварительно оптимизирована в программе ORCA 4.2.0 (PBE0, def2-TZVP). При определении Φ в качестве стандарта был использован раствор флуоресцеина в 0,1 М NaOH (Φ 79%). В обсуждении $I_{\text{фл}}$ рассматривается как общая площадь под кривой эмиссии флуоресценции.

Синтез 8-фенил-4,4-дифторо-4-боро-3а,4а-диазо-S-индацена (1)

Соединение получено согласно литературной методике [4]. Выход реакции 13%. ^1H и ^{13}C ЯМР спектры соединения **1** содержат сигналы:

^1H ЯМР (400 МГц, CDCl_3) δ 7.95 (s, 2H), 7.64 – 7.48 (m, 5H), 6.94 (d, $J=4.2$ Гц, 2H), 6.55 (d, $J=3.7$ Гц, 2H). ^{13}C ЯМР (101 МГц, CDCl_3) δ 147.51, 144.24, 135.08, 133.90, 130.89, 130.60, 128.56, 118.67.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Схема синтеза **1** представлена на рисунке 1. Для этого взаимодействием пиррола и бензальдегида в кислой среде был получен соответствующий фенилдипиррометан (DIPY), его окисление 2,3-дихлоро-5,6-дицианобензохиноном (DDQ) с последующей комплексацией эфиратом трифторида бора позволило получить конечный ФМР **1**.

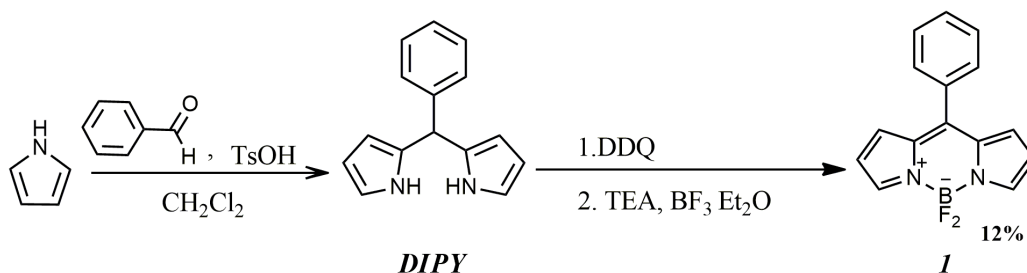


Рис. 1 Схема получения **1**

Для соединения **1** в этаноле установленное значение Φ составило 2,86%, а величина коэффициента молярной экстинкции при длине волны максимума поглощения $\epsilon_{499 \text{ нм}} = 56\,835 \text{ M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Вместе с этим, полученный флуорофор не обладает ярко выраженным сольватохромизмом. При переходе от н-гексана к N,N-диметилформамиду максимум поглощения претерпевает гипсохромный сдвиг с 504 до 499 нм. Эмиссия флуоресценции изменяется схожим образом с 530 до 518 нм. Величины сдвигов Стокса для **1** также составляют небольшие значения.

Для молекулярных роторов подобной структуры ротация арильного заместителя относительно плоскости BODIPY является определяющим фактором параметров флуоресценции. Увеличение вязкости микроокружения затрудняет его свободное вращение, тем самым увеличивая значение Φ . Для изучения влияния данного фактора была установлена зависимость величины изменения $I_{\text{фл}}$ **1** в системе этанол-глицерин от динамической вязкости системы (η) (рисунок 2, А).

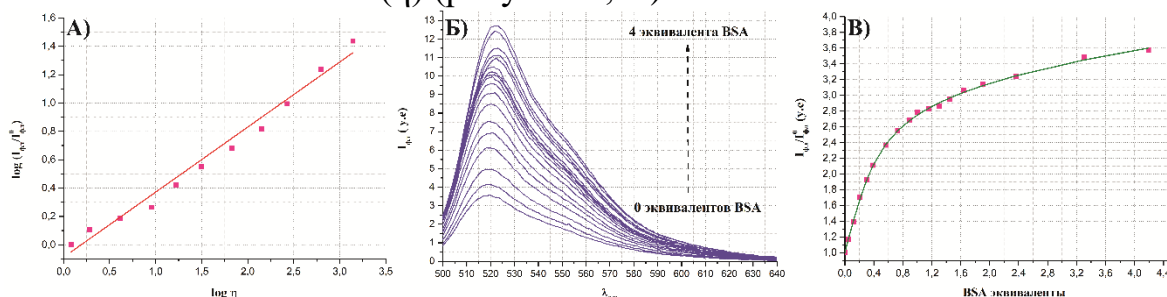


Рис 2. Полученные экспериментальные данные

(А) Зависимость логарифма отношения измеренной $I_{\text{фл}}$ к исходной $I_{\text{фл}}^0$ от логарифма вязкости среды. (Б) Спектры эмиссии флуоресценции **1** при различной концентраций BSA. (В) Кривая титрования **1** раствором BSA.

Соединение **1** не содержит в себе функциональных групп или атомов, одновременно способных специфически взаимодействовать с рассмотренным растворителем (например, образовывать водородные связи) и влиять на Φ . Группа BF_2 , в первую очередь, определяет дипольный момент соединения, и его сольватация напрямую не влияет на величину энергии барьера вращения фенильного заместителя относительно плоскости BODIPY. Это позволяет предположить, что изменение $I_{\text{фл}}$ при увеличении содержания

глицерина в первую очередь будет вызвано изменением вязкости среды. Данный факт полностью согласуется с полученными данными. При этом наблюдается линейная зависимость сопоставляемых величин. Тангенс угла наклона графика равен 0,49 и соответствует величине чувствительности флуоресценции **1** к изменению вязкости окружения.

Для изучения связывания между BSA и соединением **1** было проведено обратное титрование раствора **1**. Показано, что добавление в систему белка приводит к значительному увеличению $I_{\text{фл}}$ системы (рисунок 2, Б). При этом кривая титрования (рисунок 2, В) соответствует стехиометрии связывания два лиганда на субъединицу белка. Возможность связывания флуорофора в двух основных сайтах связывания BSA также подтверждена с помощью молекулярного докинга. Соединение **1** эффективно связывается в двух основных активных сайтах BSA (Sudlow sites DS1 и DS2). Значения свободных энергий связывания для первого и второго сайта составляют -9,4 и -8,5 ккал/моль соответственно. Для DS1 ближайшее окружение фенильного заместителя составляют остатки таких неполярных аминокислот как TYR149, LEU259, фрагмент BF2 стабилизирован водородной связью между гуанидиновым остатком ARG217 и атомами фтора **1**. Для DS2 ближайшее аминокислотное окружение составляют VAL408, LYS396 и LEU397 аналогично стабилизирующие связывание соединения **1** с белком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что ФМР **1** может быть использован в качестве сенсора вязкости среды. При этом увеличение вязкости среды приводит к линейному увеличению интенсивности флуоресценции флуорофора. Обнаруженное связывание **1** с BSA позволяет рассматривать данное и схожие с ним соединения как потенциальные флуоресцентные инструменты для изучения различных параметров белок-лигандных взаимодействий.

Библиографические ссылки

1. Loudet A., Burgess K., BODIPY Dyes and Their Derivatives: Syntheses and Spectroscopic Properties // Chemical Reviews. 2007. Vol. 107. P. 4891-4932.
2. López-Duarte I., A molecular rotor for measuring viscosity in plasma membranes of live cells / I. López-Duarte [et al.] // Chemical Communications. 2014. Vol. 50, № 40. P. 5282–5284.
3. Marfin Y. S., Fluorescent Properties of 8-phenylBODIPY in Ethanol – Ethylene Glycol Mixed Solutions / Y. S. Marfin [et al.] // Journal of Fluorescence. 2014. Vol. 24. P. 1613-1619.
4. Wagner R. W., Lindsey J. S. Boron-dipyromethene dyes for incorporation in synthetic multi-pigment light-harvesting arrays / R. W. Wagner, J. S. Lindsey // Pure and Applied Chemistry. 1996. Vol. 68, №. 7. P. 1373-1380.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТ-ИОНОВ В ПИТЬЕВОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЕ ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В.С. Карпушенкова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

karpushenkova.v.s@gmail.com.

науч. рук. – А. П. Подтероб., канд. хим. наук, доц.

Повышенное содержание сульфат-ионов в воде ухудшает органолептические свойства воды, вызывает слабительное действие, может вызывать раздражение слизистой оболочки глаз и кожи, причинять вред волосам. В данной статье рассматриваются плюсы и минусы турбидиметрического метода анализа для оценки качества питьевой воды в экологических целях на примере количественного определения сульфат-ионов в питьевой и минеральной воде в соответствии с ГОСТ 31940-2012. Турбидиметрический метод анализа является перспективным и эффективным для применения в указанных целях.

Ключевые слова: турбидиметрия; анализ питьевой воды; анализ минеральной воды; сульфат-ионы.

ВВЕДЕНИЕ

Соединения серы в организме человека играют чрезвычайно важную роль, а нарушение обмена серы сопровождается многочисленными патологическими изменениями. Однако клиническая картина этих нарушений еще недостаточно исследована: различные проявления расстройства здоровья человека пока только начинают связывать с избыточным поступлением соединений серы в организм. Так, в настоящее время известно, что повышенное содержание сульфат-ионов в воде ухудшает органолептические свойства воды, вызывает слабительное действие, может вызывать раздражение слизистой оболочки глаз и кожи, причинять вред волосам. В новых исследованиях ученые связывают токсичность соединений серы, попавших в ЖКТ, с их превращением кишечной микрофлорой в сероводород. Было доказано, что в том числе одним из источников избыточного поступления серы в организм человека являются сульфиты, которые добавляются во многие пищевые продукты, алкогольные и безалкогольные напитки в качестве консервантов. Существуют данные, что повышенная жесткость воды также вызывает нарушение минерального обмена в организме [1].

Согласно нормам СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК сульфат-ионов в питьевой воде не должна превышать 500 мг/мл, по нормам ВОЗ, USEPA, ЕС – не более 250 мг/мл [1]. В настоящее время наблюдается тенденция к ужесточению норм содержания соединений серы, в том числе и сульфат-ионов, в пищевой продукции, почвах, питьевой воде, топливах.

На данный момент ГОСТ 31940-2012 [2] предлагает три метода количественного анализа сульфат-ионов в воде: титриметрический с трилоном Б в диапазоне измерений от 25 до 500 мг/л, титриметрический с хлористым барием в диапазоне измерений от 10 до 2500 мг/л и турбидиметрический в диапазоне измерений от 2 до 50 мг/л.

В связи с вероятным ростом спроса на наиболее быстрый и эффективный метод определения сульфат-ионов в различных объектах целью данной работы являлся анализ достоинств и недостатков турбидиметрического определения сульфат-ионов по ГОСТ 31940-2012 в питьевой и минеральной воде, в том числе для экологических целей.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Турбидиметрический метод анализа основан на измерении интенсивности светового потока прошедшего через образец, содержащий взвешенные частицы вещества [3]. Оптическая плотность (A) полученной суспензии будет линейно зависеть от концентрации (c) коллоидных частиц в соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера [3]:

$$A = kcl,$$

где l — длина оптического пути (толщина слоя),

k — молярный коэффициент мутности раствора.

В данной работе для проведения измерений использовался колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2. Для построения градуировочного графика была приготовлена серия из 6 растворов сульфат-иона разной концентрации. Суспензии для калибровки были получены при смешении 5 см³ каждого из растворов сульфат-иона с 5 см³ реагента для осаждения (водный раствор хлорида бария со стабилизирующими веществами). Далее была измерена оптическая плотность каждого градуировочного раствора в кюветах толщиной 20 мм при длине волны (364 ± 20) нм по отношению к собственной оптической плотности пробы воды, подкисленной соляной кислотой. Результаты калибровки в виде графика представлены на рисунке 1. Уравнение зависимости оптической плотности от концентрации можно получить также методом наименьших квадратов по схеме, подробно описанной в [4].

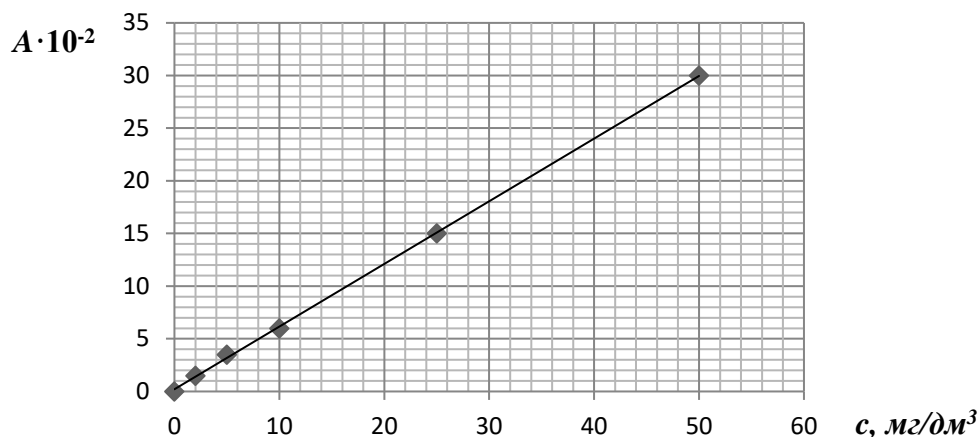


Рис.1. Зависимость оптической плотности от концентрации калибровочных растворов.

Полученная калибровочная прямая использовалась для определения концентрации сульфат-ионов в 5 образцах питьевой и минеральной воды различных производителей. Измерение оптической плотности исследуемых образцов проводилось в тех же условиях, что и калибровочных растворов. На основании уравнения калибровочной прямой и значений оптической плотности исследуемых образцов воды с учетом степени разведения были рассчитаны значения концентраций сульфат-ионов в пробах. Погрешности в определении концентраций SO_4^{2-} рассчитывались в соответствии с рекомендациями [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения сульфат-ионов в образцах питьевой и минеральной воды приведены в таблице 1. Экспериментально полученные данные согласуются с заявленными производителями интервалами. Наибольшей погрешностью характеризуется результат для образца № 1 (25 %), что можно объяснить малой концентрацией SO_4^{2-} в исследуемой воде. С целью уменьшения погрешности измерений требуется провести повторные измерения без разведения или изначально проводить тестовые измерения [2], а затем разбавление образцов. По результатам исследования можно отметить, что турбидиметрический метод позволяет быстро и с высокой точностью проводить определение сульфат-ионов в воде различного состава, в том числе минеральной. Среди достоинств метода следует упомянуть также доступность оборудования, возможность определения сульфат-ионов в образцах с низким содержанием, простоту методики выполнения анализа и пробоподготовки, возможность переноса метода для определения хлорид-ионов в воде, сульфат- и хлорид-ионов

ионов в почвах, золе. К недостаткам метода можно отнести необходимость наличия прибора, разбавления пробы, и меньшую точность по сравнению с гравиметрическим методом анализа [3].

Таблица 1.

Результаты определения сульфат-ионов в исследованных образцах воды.

№	Описание производителя	$c(\text{SO}_4^{2-})^1$, мг/дм ³	Разведение, раз	A	$c(\text{SO}_4^{2-})$ эксп., мг/дм ³
1	Вода питьевая природная негазированная	0-100	2	0,025	8 ± 2
2	Вода гидрокарбонатная натриевая газированная	70-244	5	0,16	134 ± 10
3	Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая сульфатно-карбонатная магниевая природной газации группа X	250-500	10	0,195	319 ± 20
4	Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая газированная	340-500	10	0,21	353 ± 20
5	Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая сульфатно-кальциевая негазированная	800-1400	20	0,22	739 ± 40

¹⁾ Заявленная производителями концентрация сульфат-ионов.

С учетом того, что для мониторинга качества пищевой продукции и качества воды требуются наиболее быстрые, простые и эффективные методы анализа, можно сказать, что турбидиметрический метод очень перспективен для данных целей. Данный метод можно использовать для определения не только содержания сульфат-ионов, но и хлорид-ионов в воде, в почвах, золе, в том числе в золе пищевых продуктов.

Библиографические ссылки

1. Скальный, А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека / А.В. Скальный. – Москва: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 216 с.
2. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфат ионов: ГОСТ 31940 – 2012.– Введен впервые; введ. 03.12.12.
3. Основы аналитической химии. В 2 т. Т.2: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / [Н.В. Алов и др.]; под ред. Ю.А. Золотова. – 5 –е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 416 с. ISBN 978-5-7695-9125-9.
4. Блохин, А.В. Теория эксперимента. Курс лекций. В 2 ч. Ч.2. / А. В. Блохин. – Мн.: БГУ, 2002. – 67 с. ISBN 985-445-790-7.
5. Руководство по выражению неопределенности измерения. Перевод с английского под редакцией Слаева В.А. – СПб: ГП ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, 1999. – 134 с.

СИНТЕЗ ИОНООБМЕННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ХВОЙНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ КОЛЛОИДНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Климович Ю.О., Петровская А.А.

Белорусский государственный университет, г. Минск

Климович Ю.О., Петровская А.А.:

науч. рук. Кимленко И.М., канд. хим. наук, доц.

Проведена химическая модификация хвойной целлюлозы. На её основе получен ионообменный материал и доказана высокая обменная ёмкость исследуемого ионита. Показана возможность использования модифицированной целлюлозы для получения коллоидных композиций диоксида кремния.

Ключевые слова: хвойная целлюлоза, иониты, диоксид кремния, коллоидные композиции, полировальные материалы

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы электроники и машиностроения заключаются в отсутствии высококачественных полировальных материалов. В нашей республике полирующие композиции для обработки пластин монокристаллического кремния не производятся в промышленных масштабах. Для этих целей широко используются полирующие композиции, изготовленные за рубежом (Evonik и Wacker (Германия), Nalko (США), Cabot (США) и др.). Такие композиции имеют ряд недостатков: дополнительные операции фильтрации, использование импортных полировальников, повышенный расход суспензии, наличие нарушенного слоя на пластинах кремния. В связи с этим в настоящее время продолжается поиск новых методов получения полирующих композиций [1].

Композиции на основе SiO_2 должны содержать частицы минимально возможных размеров для обеспечения однородности геометрических и структурных свойств полируемых поверхностей. Они должны быть однородными по фазовому и элементному составу, высокостабильными, простыми в приготовлении и использовании, дешевыми и экологически безопасными. Одним из перспективных методов является ионообменный метод получения композиций коллоидного SiO_2 , который предполагает удаление натрия из раствора силиката натрия посредством ионного обмена с последующим выращиванием коллоидных частиц при pH 8-10 [2].

Целью настоящей работы являлась химическая модификация хвойной целлюлозы для дальнейшего ее использования при получении коллоидных композиций диоксида кремния.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве сырья для получения ионита использовали предварительно измельченную хвойную целлюлозу. Целлюлозу обрабатывали раствором, состоящим из 20% H_3PO_4 , 40% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и 40% H_2O , выдерживали в нем в течение 6-10 ч при температуре 18-20 °С [3]. Затем раствор отфильтровывали. Навеску подвергали термической обработке в течение 3-4 ч при температуре 130 °С. После чего образец выдерживали в воде с температурой 20-30 °С в течение 1 ч. Полученный фосфат целлюлозы отмывали от рабочего раствора водой и кондиционировали в воде 6-7 сут.

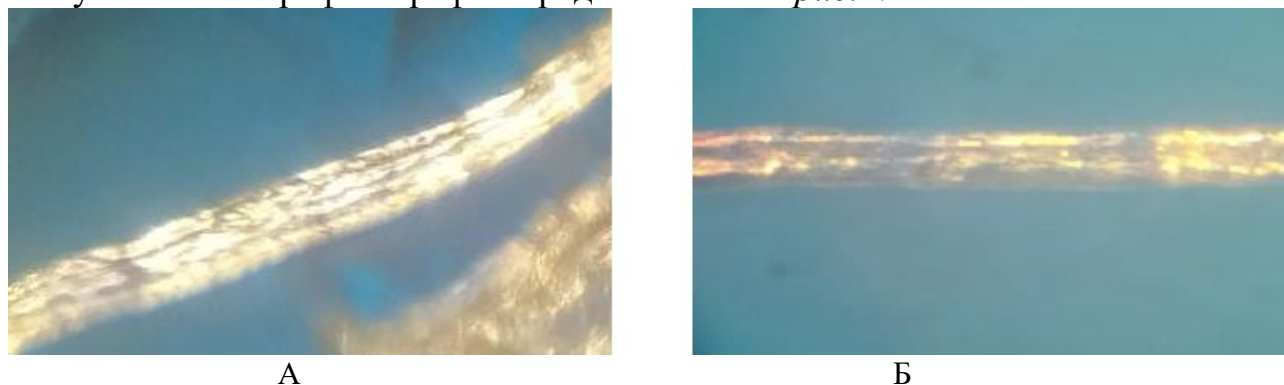
Изучение структуры волокон обработанной целлюлозы проводили с помощью оптического микроскопа Carl Zeiss Jena в поляризованном свете при увеличении 320х. Определение обменной емкости полученного ионообменного материала проводили на ионном хроматографе Metrohm 850 Professional IC после пропускания образцов водопроводной воды через материал.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Природные целлюлозосодержащие материалы характеризуются возобновляемостью, невысокой стоимостью, хорошими емкостными характеристиками, возможностью утилизации, а в отдельных случаях и регенерации, что делает их использование в промышленности экономически целесообразным.

Проведена химическая модификация целлюлозы путем ее фосфорилирования. Известно, что данный процесс приводит к образованию в ее структуре одно-, двух- и трехзамещенных фосфатных групп, которые формируют основной обменно-сорбционный потенциал получаемых материалов. Обязательным компонентом при химической модификации целлюлозы является мочевины, смягчающая агрессивное действие фосфорной кислоты [4].

Изучена структура нативного и обработанного целлюлозного волокна. Полученные микрофотографии представлены на *рис. 1*.



А
Б
Рисунок 1. Микрофотографии волокон целлюлозы (а – нативная, б – модифицированная)

Как следует из рисунков, выделенные волокна целлюлозы идентичны, что свидетельствует о сохранении волокнистой структуры целлюлозы после ее обработки смесью мочевины и фосфорной кислоты. Определена толщина волокон, которая составляет ~12,6 мкм. Результаты ионной хроматографии приведены в таблице 1.

Таблица 1

Ионный состав воды до и после пропускания через ионит на основе хвойной целлюлозы

Ион	Состав исходной воды, мг/л	Состав воды после пропускания через катионит, мг/л
F^-	0,23	–
Cl^-	12,9	0,85
NO_3^-	2,77	0,48
SO_4^{2-}	93,0	1,06
Na^+	7,49	0,41
NH_4^+	1,56	0,39
K^+	1,68	0,19
Ca^{2+}	73,1	0,51
Mg^{2+}	19,2	–

Как видно из таблицы 1, содержание катионов и анионов в образце воды при прохождении через ионит на основе целлюлозы значительно уменьшились, что свидетельствует о высокой обменной емкости исследуемого ионообменного материала. Емкость по главным катионам (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) составляет 1,65 ммоль/л.

Проведены эксперименты по подбору условий получения золя диоксида кремния на основе жидкого натриевого стекла с использованием стационарной ионообменной колонки (рис. 2).

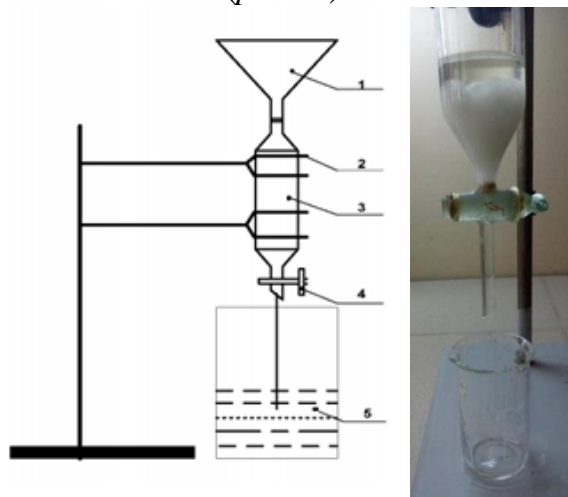


Рисунок 2. Схема стационарной ионообменной колонки (1 – воронка, 2 – штатив, 3 – ионообменная колонка с сорбентом, 4 – регулятор напора, 5 – фильтрат)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате работы получен ионообменный материал на основе хвойной целлюлозы, изучена структура нативного и обработанного целлюлозного волокна, определена его обменная емкость. Показана перспективность использования модифицированной целлюлозы для получения коллоидных композиций диоксида кремния.

Библиографические ссылки

1. *Косенок Я.А., Гайшун В.Е., Тюленкова О.И.* Исследование приповерхностного нарушенного слоя в пластинах монокристаллического кремния после ХМП / Я. А. Косенок [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2018. – Т.37, № 4. – С. 25-29.
2. *Косенок Я.А., Гайшун В.Е., Тюленкова О.И., Савицкая Т.А., Кимленко И.М., Шахно Е. А.* Влияние ультразвуковой обработки на размер частиц в суспензиях на основе наноразмерного диоксида кремния / Я. А. Косенок [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2015. – Т.25, № 4. – С. 16-19.
3. *Елатонцев Д.А., Мухачев А.П.* Синтез и свойства ионообменников на основе недревесной целлюлозы / Д. А. Елатонцев, А.П. Мухачев // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2020. – Т.63, № 11. – С. 88-95.
4. *Хмылко Л.И., Орехова С.Е.* Сорбенты на основе лигнина и целлюлозосодержащих материалов/ Л. И. Хмылко, С.Е. Орехова // Свиридовские чтения: сб. ст. / Химический факультет Белорус. гос. ун-та ; сост.: О. А. Ивашкевич (пред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С.232.

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ РАСКРЫТИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИКЛОБУТАНОЛА

Коротина В.Г

Белорусский государственный университет, Минск.

vlada.korotina.rook@protonmail.com

науч. рук. – Д. А. Асташко, канд. хим. наук, доц.

Асташко Д.А.

Белорусский государственный университет, Минск.

astashko@bsu.by

Циклобутановые производные могут быть использованы в качестве строительных блоков новых молекул в органической химии. Благодаря наличию напряжения в кольце они могут вступать в реакции, протекающие с раскрытием цикла. Целью нашей работы являлось получение производных циклобутанола из доступных исходных соединений и осуществление их окислительного раскрытия под действием катализаторов на основе марганца или кобальта.

Ключевые слова: циклопропанолы; циклобутаноны; циклобутанолы; окисление, реакции, катализируемые марганцем и кобальтам; дикетоны; органический синтез.

В 2001 году группой учёных под руководством Кулинковича было осуществлено марганец катализируемое раскрытие 1-алкил циклопропанолов кислородом с образованием циклических пероксидов [1]. В 2016 году было опубликовано исследование по проведению раскрытия циклобутанолов под действием катализатора Mn(III) с образованием радикальных частиц, которые взаимодействовали с дитретбутилазодикарбоксилатом, формируя при этом соответствующие гидразинил кетоны [2].

Целью нашего исследования было осуществление реакции окислительного раскрытия производных циклобутанола кислородом в присутствии катализаторов на основе марганца или кобальта, а также разработка удобного подхода к синтезу исходных 1-алкилциклобутанолов.

Синтез исходных соединений для получения производных циклобутанола был осуществлён с использованием перегруппировки циклопропанола (**2**) в кислых условиях. Циклопропанол (**2**) был синтезирован из этиллактата, который вводили в реакцию циклопропанирования по методу Кулинковича [3]. Циклопропанирование субстратов, содержащих гидроксильную группу обычно проводится с использованием защитных групп, что позволяет получить циклопропанолы с хорошим выходом 76 % [4]. Использование данного метода в нашей работе является нецелесообразным, поскольку это создало бы сложности при проведении перегруппировки, так как образующиеся продукты гидролиза обладают близкой к 2-ме-

тилциклобутанону (**3**) температурой кипения, в то время как сам циклобутанон является легколетучим соединением. Осуществление циклопропанирования этиллактата позволило получить 1-(1-гидроксиэтил)циклопропан-1-ол с выходом 60 %. По реакции Гриньяра 2-метилциклобутанона (**3**) с $n\text{-PrMgBr}$ был получен 2-метил-1-пропилциклобутанол (**4**) (схема 1).

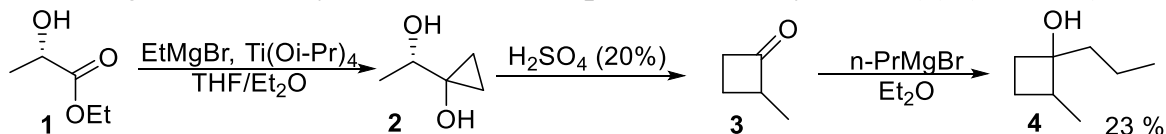


Схема 1

Во время выполнения данного исследования вышла статья французских учёных, где обсуждалось окислительное раскрытие производных циклобутанола под действием $\text{Co}(\text{acac})_2$ с образованием 1,2-диоксанолов, но в приведённых условиях нам не удалось осуществить раскрытие циклобутанола (**4**) с образованием соединений данного ряда [5]. В результате были получены дикетон и гидроксикетон с небольшими выходами в соотношении 1/1, однако достигнуть полной степени конверсии исходного соединения так и не удалось.

Циклобутанол (**4**) вводили в реакцию раскрытия кислородом с использованием катализатора $\text{Mn}(\text{acac})_2$ (0,05 экв.) в ацетонитриле при комнатной температуре, но в реакционной смеси было зарегистрировано только исходное соединение. Увеличение количества катализатора до 0,1 экв. также не дало результатов. Тогда на основании статьи 2016 года, в которой помимо катализатора дополнительно был использован соокислитель на основе соединений гипервалентного иода и бидентантный лиганд [2], похожие условия были применены нами к соединению **4**. Изначально был добавлен только соокислитель (IBX), но реакция не протекала. И только после добавления бидентантного лиганда (1,10-фенантролина), нам удалось достигнуть полной конверсии исходного соединения с образованием двух продуктов реакции дикетона 36% (**7**) и гидроксикетона 18% (**6**), но на это потребовалось 4 дня (схема 2).

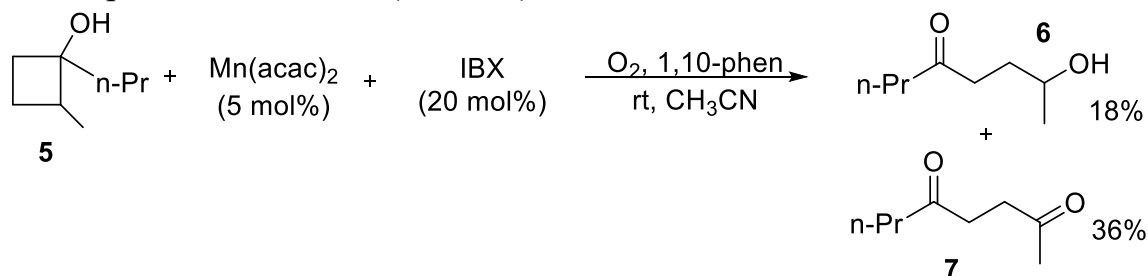


Схема 2

Для оптимизации условий протекания реакции она была проведена при повышенной температуре (35°C), что значительно сократило время кон-

версии исходного соединения в продукты реакции. В Таблице 1 приведены данные по осуществлению раскрытия 2-метил-1-пропилциклобутанола (**4**) в различных условиях.

Таблица 1

Раскрытие 2-метил-1-пропилциклобутанола (**4**) в различных условиях

Реагенты	Выход ¹
ИВА (0,2 экв)	Нет реакции
Mn(acac) ₂ (0,05 экв)	
Mn(acac) ₂ (0,1 экв)	
Mn(acac) ₂ (0,05 экв), IBX (0,2 экв)	
Mn(acac) ₂ (0,05 экв), IBX (0,2 экв), 1,10-фенантролин (0,05 экв)	Дикетон 36 % Гидроксикетон 18 %
Mn(acac) ₃ (0,2 экв), ИВА (0,2 экв)	Нет продуктов
Mn(acac) ₃ (0,2 экв), ИВА (0,2 экв), bathophen (0,22 экв)	Дикетон 40 % Гидроксикетон 18,7 %
Mn(OAc) ₂ ·4H ₂ O (0,2 экв), ИВА (0,2 экв), bathophen (0,22 экв), O ₂ , 35°C	Дикетон 50 % Гидроксикетон 23 %

¹Выходы выделенных и очищенных продуктов.

Как видно из Таблицы 1 наиболее оптимальными условия для осуществления раскрытия 2-метил-1-пропилциклобутанола (**4**) были получены при использовании Mn(OAc)₂·4H₂O, являющегося более дешёвым катализатором, с использованием ИВА в качестве соокислителя, что позволило получить дикетон и гидроксикетон с выходами 50% и 23% соответственно (схема 3).

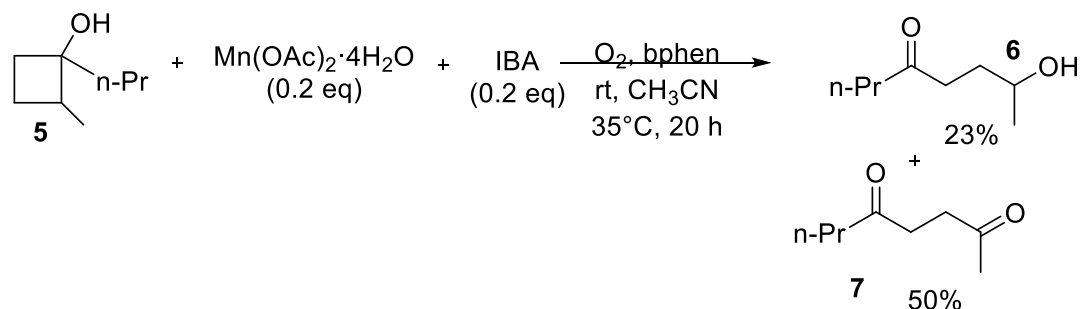


Схема 3

Поскольку использование кислорода с воспламеняющимися жидкостями является небезопасным, то нами была проведена реакция окислительного раскрытия циклобутанола (**4**) кислородом воздуха. При этом в качестве основного продукта был получен октан-2,5-дион (**7**).

Таким образом нами был осуществлён синтез 2-метил-1-пропилциклобутанола из этиллактата через реакции циклопропанирования по Кулинковичу и расширения цикла, полученного циклопропанола без выделения и очистки промежуточных соединений. Показано, что полученный продукт окисляется кислородом воздуха в присутствии ацетата марганца и ИВА в качестве соокислителя с образованием в качестве основного продукта соответствующего 1,4-дикетона.

Библиографические ссылки

1. Synthesis of α,β -Epoxy Ketones from Alkyl- and Arylsubstituted Cyclopropanols / *O. Kulinkovich [et al.]* // *Synthesis*. – 2004. – Vol. 2001, № 10. – P. s-2001-16089.
2. Wang, D. Manganese-Promoted Ring-Opening Hydrazination of Cyclobutanols: Synthesis of Alkyl Hydrazines / *D. Wang, R. Ren, C. Zhu* // *J. Org. Chem.* – 2016. – Vol. 81, № 17. – P. 8043-8049.
3. *Kulinkovich, O.G.* Titanium(IV) Isopropoxide-Catalyzed Formation of 1-Substituted Cyclopropanols in the Reaction of Ethylmagnesium Bromide with Methyl Alkanecarboxylates / *O.G. Kulinkovich, S.V. Sviridov, D.A. Vasilevski* // *Synthesis*. – 1991. – Vol. 1991, № 03. – P. 234-234.
4. *Shklyaruck, D.* The First Synthesis of Spirocyclic Sulfates from Tertiary Cyclopropanols and Their Reaction with Normant Homocuprates / *D. Shklyaruck, A. Fedarkevich, Y. Kozyrkov* // *Synlett*. – 2014. – Vol. 25, № 13. – P. 1855-1858.
5. Oxidative Ring Expansion of Cyclobutanols: Access to Functionalized 1,2-Dioxanes. Oxidative Ring Expansion of Cyclobutanols / *M.M.L. Martín López [et al.]*. – 2020.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФОРМОВОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЭКСТРАКТА КОРНЯ ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО (*TARAXACUM OFFICINALE*)

Леонтьев А.П.

Белорусский государственный университет, Минск.

Леонтьев А.П.:

*науч. рук. Савицкая Т.А.: проф. кафедры физической химии, канд.
хим. наук, доц.*

Разработан состав формовочной композиции на основе альгината натрия с добавлением водного экстракта корня одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* в качестве растоврителя. Показано, что использование растительного экстракта приводит к уменьшению прочности формируемой пленки при увеличении относительного удлинения.

Ключевые слова: съедобная биоразлагаемая упаковка, формовочная композиция, альгинат натрия, экстракт корня одуванчика

ВВЕДЕНИЕ

Создание биоразлагаемой съедобной упаковки для пищевых продуктов как альтернативы бионеразлагаемым упаковкам из синтетических полимеров сегодня является актуальным и инновационным направлением исследований, которое привлекает всё большее внимание как ученых, так и производителей упаковочных материалов.

Мировой рынок таких упаковочных материалов еще только складывается, но уже в качестве одного из будущих перспективных трендов можно выделить создание съедобных пленок на основе полисахаридов с различными добавками для придания им антимикробных и антиоксидантных свойств [1].

Для достижения этой цели существует широкий спектр синтетических добавок, таких, как бензоаты, сорбаты, низин, бутилированный гидрокситолуол и др. [2]. Однако, как показали многочисленные медицинские исследования, существует корреляция между избыточным потреблением продукции, содержащей синтетические консерванты и возникновением различного рода заболеваний. В этой связи все более актуальными становятся исследования, направленные на замену синтетических консервантов на природные аналоги, которые безопасны для здоровья человека.

Многочисленные исследования показали, что фенольные соединения, содержащиеся в растениях, в той или иной степени обладают антимикробной (АМА) и антиоксидантной активностью (АМА и АОА). Однако

выделение фенольных соединений из растительных экстрактов для последующего введения в полимерную матрицу экономически нецелесообразно. Более рациональным представляется их введение в составе водных или водно-спиртовых экстрактов, которые для многих растений признаны безопасными для здоровья человека (GRAS, Generally recognized as safe) [2], и могут быть использованы в качестве растворителей для базовых полимеров, в частности, полисахаридов, составляющих основу пленки.

Анализ литературы, посвященной исследованиям АМА и АОО пленок на основе полисахаридов и белков с добавками растительных экстрактов и эфирных масел, свидетельствует о том, что наиболее изучено использование в качестве добавок различных сортов чая, корицы, тимьяна, имбиря, шалфея, кориандра, гвоздики и травянистых растений. При этом, несмотря на все разнообразие трав, описание добавок, выделенных из корней или листьев одуванчика, в литературе отсутствует [3, 4].

Целью настоящей работы явилась разработка состава формовочной композиции для получения съедобной упаковочной пленки на основе альгината натрия и водного экстракта корня одуванчика в качестве растворителя и антиоксидантной добавки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* – многолетнее травянистое растение семейства Астровые. Согласно данным фитохимического анализа, в корнях содержатся хлорогеновая, кофейная, пара-кумаровая, синаповая, феруловая и цикориевая кислоты [5]. Основными компонентами экстракта являются цикориевая и синапиновая кислоты, чем и обусловлена его антиоксидантная активность [5].

Для приготовления водного экстракта был использован высушенный корень одуванчика производства компании Фарм Групп (Российская Федерация).

Навеску высушенных корней растения массой 1 г помещали в 100 см³ дистиллированной воды и выдерживали на водяной бане 15 мин при температуре 80 °С. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр марки «синяя лента».

В качестве полимера для приготовления формовочной композиции был выбран альгинат натрия (АН), так как согласно литературным данным [6] альгинатные пленки достаточно многофункциональны и могут быть использованы для хранения мяса, рыбы, птицы, фруктов и ягод, обладают достаточно высокой прочностью и барьерными свойствами. Для нахождения оптимальной концентрации полимерного раствора были приготовлены 1,5; 3; 4 % (мас.) растворы альгината натрия, для получения

которых соответствующую навеску полимера помещали в воду или в водный раствор экстракта корня одуванчика, перемешивали при температуре окружающей среды 15 мин, затем в образовавшуюся суспензию добавляли глицерин в качестве пластификатора и выдерживали на водяной бане при 80°C в условиях постоянного перемешивания с помощью механической мешалки DAIHAN Scientific HS-100D на скорости 300-450 об/мин до полного растворения полимера (90 мин). Полученные прозрачные однородные растворы оставляли на 24 часа для деаэрирования в статических условиях.

Пленки формовали путем нанесения с помощью специального приспособления (скребка) слоя раствора толщиной 1000 мкм на полиэфирную подложку из биосоориентированного полиэтилентерефталата марки Mylar, который выдерживали на воздухе при температуре окружающей среды в течение 24 часов.

Пленки, полученные при использовании воды как растворителя, были прозрачные и бесцветные, а в случае экстракта корня одуванчика – имели желтоватый оттенок. Составы всех полученных пленок представлены в таблице.

Таблица

Составы формовочных композиций и характеристики внешнего вида и адгезии к подложке полученных из них пленок

Состав формовочной композиции, % мас.	Характеристики пленки
АН – 1,5 Глицерин – 1,261 Вода – остальное	Однородная, без включений воздуха, бесцветная, имеет высокую адгезию к подложке вследствие чего плохо отслаивается
АН – 3,5 Глицерин – 1,8915 Вода – остальное	Однородная, без включений воздуха, бесцветная, отслаивается неравномерно
АН - 4 Глицерин – 1,261 Вода – остальное	Однородная, без включений воздуха, бесцветная, имеет низкую адгезию к подложке и отслаивается хорошо
АН – 4, Глицерин – 1,261 Водный экстракт корня одуванчика – остальное	Однородная, без включений воздуха, бледно-желтого цвета, имеет низкую адгезию к подложке и отслаивается хорошо

Как следует из данных таблицы, оптимальная концентрация АН в формовочной композиции, обеспечивающая получение однородных легко отслаивающихся от подложки пленок составляет 4 % (мас.). Именно эта концентрация полимера была взята для приготовления пленок при использовании экстракта одуванчика в качестве растворителя. Удельная прочность пленки, сформованной в этом случае, измеренная с помощью

разрывной машины Zwick/Roell Z 0.5 (толщина пленки 30 мкм, расстояние между захватами 20 мм) составила $51,96 \pm 2,47$ МПа, оказалась меньше по сравнению с пленкой, сформованной из водного раствора АН ($120 \pm 1,67$ МПа). При этом относительное удлинение, характеризующее эластичность пленки, увеличилось более, чем в два раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование водного экстракта корней одуванчика *Taraxacum officinale* в качестве растворителя в составе формовочной композиции снижает удельную прочность пленки, но придает ей повышенную эластичность, что важно для её использования в качестве упаковочного материала. Независимо от вида использованного растворителя, пленки легко подвергались термосварке, что позволило упаковать в них свежие фрукты и ягоды для тестирования возможного срока хранения.

Библиографические ссылки

1. Савицкая, Т. А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов / Т.А. Савицкая // Полимерные материалы и технологии. – 2018. – С. 147.
2. Lourenço, S. Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications / S. Lourenço, M. Moldão-Martins, V. Alves // Molecules. – 2019.– № 24, vol. 22.– P.1 – 25.
3. Benbettaïeb, N. Bioactive edible films for food applications: mechanisms of antimicrobial and antioxidant activities / N. Benbettaïeb, F.Debeaufort, T. Karbowiak // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2018.– № 59, vol. 21. – P. 3431 – 3455.
4. Eça, K. Films and edible coatings containing antioxidants - a review / K. Eça, T. Sartori, F. Menegalli // Brazilian Journal of Food Technology. – 2014.– № 2, vol. 17. – P. 98 – 112.
5. Ivanov, I. Polyphenols Content and Antioxidant Activities of *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (Dandelion) Leaves / I. Ivanov // International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research. – 2014. – № 6, vol. 4. – P. 889 – 893.
6. Parreidt, T. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications / T. Parreidt, K. Müller, M. Schmid // Foods. – 2018. – № 7, vol. 10. – P. 170.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

Л. С. Мезга¹, В. С. Кульбацкий², Ю. Г. Походня²

¹Белорусский государственный университет, г. Минск

²Учреждение Здравоохранения "Национальная антидопинговая лаборатория", г. Минск;

lilyamezga@gmail.com, v.kylbatskiy@antidoping.by;

науч. рук – Ю. Г. Походня, канд. биол. наук, доц.;

соруk. – Е. Б. Окаев, канд. хим. наук, доц.

Проведение элементного анализа волос позволяет с высокой степенью надежности выделить группы риска заболеваний, связанных с избытком или недостатком микроэлементов, и своевременно принять профилактические меры. Для разработки методики количественного определения в качестве анализируемых микроэлементов были выбраны цинк (Zn), мышьяк (As), железо (Fe), медь (Cu). В настоящей работе была разработана методика количественного определения микроэлементов в волосах человека методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Образец волос отмывали по двум методикам, анализу также подвергался образец без отмывки. Для минерализации был выбран метод разложения с использованием микроволновой системы. Было доказано отсутствие мешающего влияния совместного нахождения аналитов и установлен предел количественного определения.

Ключевые слова: ИСП-МС, микроэлементы, элементный состав волос

ВВЕДЕНИЕ

Организм человека состоит из большого количества элементов. Предполагается, что оптимальное содержание их в организме уменьшает вероятность развития заболеваний. В настоящее время в медицинской практике уделяется недостаточное внимание контролю элементного баланса в организме ввиду трудоемкости анализов и большого количества воздействующих факторов, в связи с чем прибегают к мониторингу в случае существующей проблемы [1]. Своевременное выявление элементного дисбаланса позволит проводить мониторинг функционального состояния организма человека, предупреждать развитие осложнений и рецидивов у пациентов, уже страдающих от нарушений функций организма.

Для элементного анализа в клинической диагностике используются различные биологические образцы человека, каждый из которых имеет свой ряд преимуществ и недостатков. Наиболее перспективным биообразцом являются волосы, так как характеризуются стабильной динамикой роста и накоп-

ливают в себе информацию о процессах метаболизма, имевших место в организме за определенный срок, в связи с чем можно установить приблизительный период воздействия какого-либо элемента. Волосы не требуют особых условий для хранения, а содержание микроэлементов остается постоянным с течением времени. Кроме того, достоинствами элементного анализа по волосам являются полная неинвазивность и нетравматичность метода.

Согласно литературным данным [2-5], на территории Беларуси наиболее часто встречаются заболевания, связанные с дефицитом кальция, калия, цинка, железа, йода, селена, меди, мышьяка, свинца и кадмия. Для исследования, описанного далее в этой работе, были выбраны эссенциальные и условно эссенциальные микроэлементы, которые имеют большую значимость для организма человека. Содержание цинка, железа, меди и мышьяка в волосах коррелирует с содержанием этих микроэлементов в организме [6-7], что делает их идеальным объектом для анализа.

Большая часть методик элементного анализа волос была разработана для ААС и АЭС, однако в настоящее время масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой является предпочтительным аналитическим методом из-за ее многоэлементности, высокой чувствительности, способности измерять широкий диапазон концентраций, а также достаточно высокой скорости анализа. Отдельно стоит отметить, что на территории Беларуси такие исследования не проводятся.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения эксперимента образец волос был отобран у одного добровольца, перед сбором образца волосы мылись шампунем, более чем месяц не подвергались химической обработке, не красились. Измельчение образца проводилось стальными ножницами, предварительно очищенными последовательно метанолом, а затем пентаном. Данные органические растворители были выбраны для очистки ножниц, так как они позволяют последовательно избавиться от органических и неорганических загрязнений, которые обладают гидрофильными и гидрофобными свойствами.

Шампунь не дает гарантии, что были устранены все экзогенные загрязнители, а также есть вероятность, что в составе шампуня содержались исследуемые аналиты, поэтому основные этапы пробоподготовки включают отмывку образца и минерализацию. Отмывку образца проводили по двум методикам: для более мягкой отмывки (методика №1) в качестве промывочной смеси выступал ацетон, для более глубокой отмывки применяли смесь диэтилового эфира с ацетоном в соотношении 3 к 1 (методика №2). Также проводили анализ образца без отмывки.

Для минерализации образца волос не подходит открытая минерализация из-за высокой летучести мышьяка, поэтому был выбран метод разложения в микроволновой системе. Минерализация считалась успешной в случае отсутствия остатков образца после разложения. После минерализации проба представляла собой бесцветный и прозрачный раствор, без осадков и помутнений.

По результатам эксперимента, проведенного с использованием метода стандартных добавок, было обнаружено большое различие между коэффициентами наклона внутренней и внешней калибровок, что, вероятнее всего, было вызвано сильным влиянием матричного эффекта. Для минимизации возможных отклонений нами был проведен повторный эксперимент с использованием метода стандартных добавок совместно с методом внутреннего стандарта. В качестве внутреннего стандарта был выбран раствор с ионами скандия.

Для доказательства отсутствия мешающего взаимного влияния интерференции выбранных аналитов в рамках одной аналитической серии были проанализированы образцы мышьяка, железа, меди, цинка с известными концентрациями и образец, содержащий все выбранные аналиты. Значения отклонений относительной интенсивности для всех аналитов составили не более 5%, что говорит о специфичности методики.

Для оценки чувствительности разрабатываемой методики необходимо было определить предел количественного определения (ПКО) анализируемого соединения. Нами был выбран метод определения ПКО по отношению сигнал/шум. В рамках одной аналитической серии были проанализированы холостой и калибровочные образцы, в качестве растворителя была использована 2%-ная азотная кислота. ПКО рассчитывался из уравнений калибровочных графиков для соответствующих элементов, за сигнал шума был принят холостой опыт (Таблица 1).

Таблица 1

Значения относительных интенсивностей и рассчитанные значения ПКО

Элемент	As	Fe	Cu	Zn
Относительная интенсивность сигнала элемента в холостом образце	0,001286	1,006094	0,190063	2,911708
Относительная интенсивность сигнала элемента в холостом образце x10	0,012864	10,06094	1,90063	29,11708
Рассчитанное значение ПКО, нг/г	1	30	30	80

Количество независимо проведенных опытов n=1.

Данный метод является приблизительным, для более точного определения предела количественного определения требуется провести большее количество измерений и использовать более строгие методы расчета: по

стандартному отклонению аналитического сигнала и наклону градуировочной кривой, по стандартному отклонению холостой пробы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Был произведен анализ трех серий образцов с тремя повторами: три образца волос, отмытых по методике №1; три образца волос, отмытых по методике №2; три образца волос без отмытки (Таблица 2).

Концентрации аналитов, полученные при анализе серии образцов по методике №2, оказались меньшими, нежели концентрации серии образцов, полученные по методике №1. Методика №1 занимает гораздо меньшее время и является менее трудозатратной, а также требует меньшего количества дорогостоящих реактивов. Получилось правильно подобрать количество вносимых добавок стандартных образцов для построения калибровочного графика, рассчитанные значения концентраций попали в построенную калибровку, что говорит о достаточно высокой точности полученных значений.

Таблица 2

Значения полученных концентраций аналитов различных серий испытываемых образцов

Метод №1				
Номер образца Аналит	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Сред. знач.
	мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г
Fe	13,11	8,83	12,77	11,57
Cu	25,41	15,46	16,80	19,22
Zn	470,67	330,69	335,97	379,08
As	0,0077	0,0062	0,0082	0,0073
Метод №2				
Номер образца Аналит	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Сред. знач.
	мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г
Fe	11,09	9,50	9,37	9,99
Cu	15,01	15,54	16,59	15,72
Zn	319,89	339,68	333,21	330,93
As	0,0031	0,0087	0,0083	0,0067
Без отмытки				
Номер образца Аналит	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Сред. знач.
	мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г
Fe	15,72	14,66	12,13	14,17
Cu	22,39	19,38	19,57	20,45
Zn	450,50	394,09	389,62	411,41
As	0,013	0,015	0,011	0,013

При проведении анализа были выявлены некоторые проблемы. Во-первых – невозможность разделения этапов, когда устранены все эндогенные загрязнения и начинают вымываться экзогенные. Таким образом, методика более глубокой отмывки образца может давать ложные значения. Во-вторых – сложность сопоставления с референтными значениями, так как неизвестно, при каких условиях проходил анализ для их установления. И в-третьих – недостаточное измельчение образца, из-за чего в каждой серии образцов между повторами есть достаточно большое отклонение. Для его снижения требуется специальное оборудование, которое измельчает волосы в порошок. Способы устранения выявленных проблем будут изучаться в будущих работах, посвящённых данной тематике.

Таким образом, для подтверждения корректности разработанной методики количественного определения требуется либо наличие сертифицированного стандарта волос с известными концентрациями, либо участие в междулабораторных сличениях.

Библиографические ссылки

1. Биоэлементный статус населения Беларуси: экологические, физиологические и патологические аспекты / Под ред. Н. А. Гресь, А. В. Скального. – Минск : Харвест, 2011. – 352 с.
2. *Маленченко, А. Ф.* Элементный состав волос жителей Беларуси / А. Ф. Маленченко [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. – 2009. – №1, 19. – С. 126-130.
3. *Петренко, С. В.* Изучение обеспеченности микроэлементами селена, йода, железа и цинка населения различных экологических регионов Республики Беларусь с высокими показателями заболеваемости щитовидной железы / С. В. Петренко [и др.] // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. – 2018. – № 4. – С. 109-118
4. *Гузик, Е. О.* Метод гигиенической оценки баланса химических элементов у детей (Региональный микроэлементный паспорт) / Е. О. Гузик [и др.] // Здоровоохранение и медицинская наука Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : <http://med.by/methods/book.php?book=1550>. – Дата доступа: 08.04.2021
5. *Загорский, С. Э.* Элементный состав волос детей в возрасте 12–18 лет, проживающих в промышленно развитом мегаполисе (г. Минск) / С. Э. Загорский, Е. А. Синевич, С. Б. Мельнов // Здоровье для всех : материалы IV Международной научно-практической конференции, УО “Полесский государственный университет”, ч. 3. – Пинск : ПолесГУ, 2012. – С. 232 – 235
6. *Скальный А.В.* Биоэлементы в медицине / А. В. Скальный, И. А. Рудаков. – М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 272 с.
7. Лабораторная диагностика / под ред. Е. А. Кондрашевой, А. Ю. Островского. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Медиздат, 2018. – 720 с.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭТИЛ-2-ЦИАНО-3-(2-ФУРИЛ)-2-ПРОПЕНОАТА

А. Ю. Орлович, Я. Н. Юркштович

Белорусский государственный университет;

arlovicha@mail.ru;

науч. рук. – А. В. Блохин, д-р хим. наук, проф.

Проведено комплексное термодинамическое исследование этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата в различных агрегатных состояниях. Записан и проанализирован ИК-спектр этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата. Чистота анализируемого образца этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата определена методом фракционного плавления (99.72 ± 0.01 мол. %) и с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (~ 99.57 % масс. %).

Получены температура плавления (364.09 ± 0.02 К), энтальпия плавления (29.35 ± 0.02 кДж·моль⁻¹) и энтропия плавления (80.61 ± 0.06 Дж·моль⁻¹·К⁻¹) этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата. Методом адиабатической калориметрии получена температурная зависимость теплоемкости этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата в интервале 80 – 370 К. На основании принципов статистической термодинамики проведен расчет термодинамических функций в состоянии идеального газа. Вычислена энтальпия сублимации при 298.15 К двумя способами: с использованием изобарной теплоемкости в кристаллическом и газообразном состояниях (102.9 ± 5.3 кДж·моль⁻¹) и с использованием метода изодесмических реакций (101.6 ± 4.6 кДж·моль⁻¹).

Ключевые слова: этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноат; фракционное плавление; ИК-спектр; теплоемкость; энтальпия сублимации; метод изодесмических реакций.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшая задача физической химии – определение термодинамических свойств различных химических веществ. Число известных химических соединений значительно превышает потенциал экспериментально получаемых термодинамических свойств. Следовательно, перспективным направлением является предсказание химических и физических свойств индивидуальных соединений и их смесей.

Производные фурана обладают уникальной биологической активностью. Проводится ряд исследований, где этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноат и его производные используют в качестве реагентов для синтеза других биологически-активных соединений [1, 2]. Производные цианоакрилата также имеют широкую сферу применения: используются в производстве сенсibilизированных красителем фотоэлектрических материалов, выступают в роли хемосенсоров; служат сырьём для изготовления полимерных материалов [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Установление чистоты анализируемых образцов

Чистота образца, определенная с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, составила ~ 99.57 % масс. %. Установлено наличие примеси, имеющей большую молярную массу по сравнению с этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноатом.

Чистота образца, полученная методом фракционного плавления в двух сериях опытов в адиабатическом калориметре, составила 99.72 ± 0.01 мол. %.

Для анализа экспериментальных данных строился график зависимости температуры фазового перехода от доли жидкой фазы. Экспериментальные данные были аппроксимированы с использованием метода наименьших квадратов линейным уравнением:

$$T = T_{\text{fus}} - \frac{RT_{\text{fus}}^2(1-x)}{\Delta_{\text{fus}}H_m} \frac{1}{f},$$

где T_{fus} – температура плавления исследуемого образца при полном отсутствии примесей; $(1-x)$ – мольная доля примеси в образце; f – равновесная доля расплава при температуре T , равная отношению теплоты, уже затраченной на плавление образца, к общей теплоте плавления вещества; $\Delta_{\text{fus}}H_m$ (Дж·моль⁻¹) – энтальпия плавления вещества при температуре T_{fus} . При $1/f = 1$ значение температуры соответствует температуре плавления исследуемого образца (T_{fus1}).

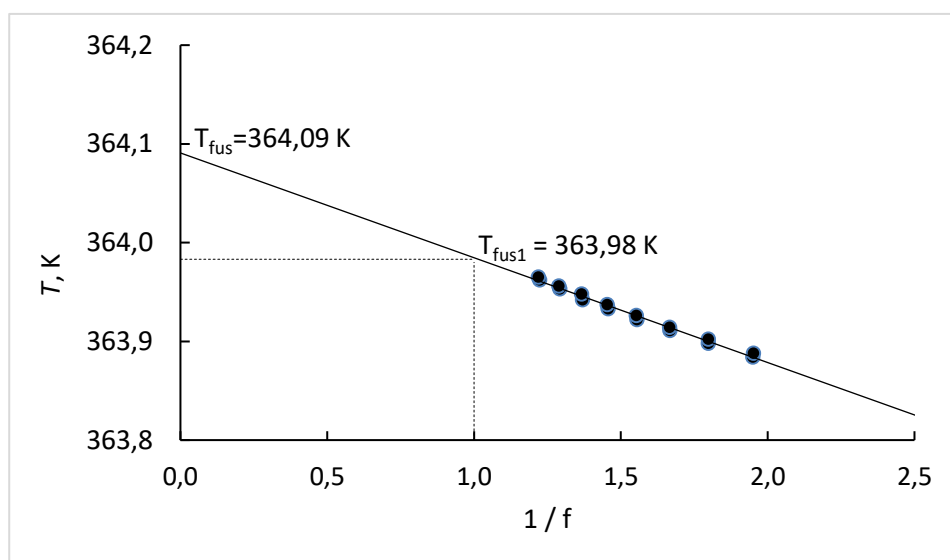


Рис. 1. Зависимость равновесной температуры T от обратной величины доли расплава f для образца этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата

ИК-спектр этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата

Записан ИК-спектр этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата. Проведена расшифровка характеристических спектральных полос этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата (табл. 1).

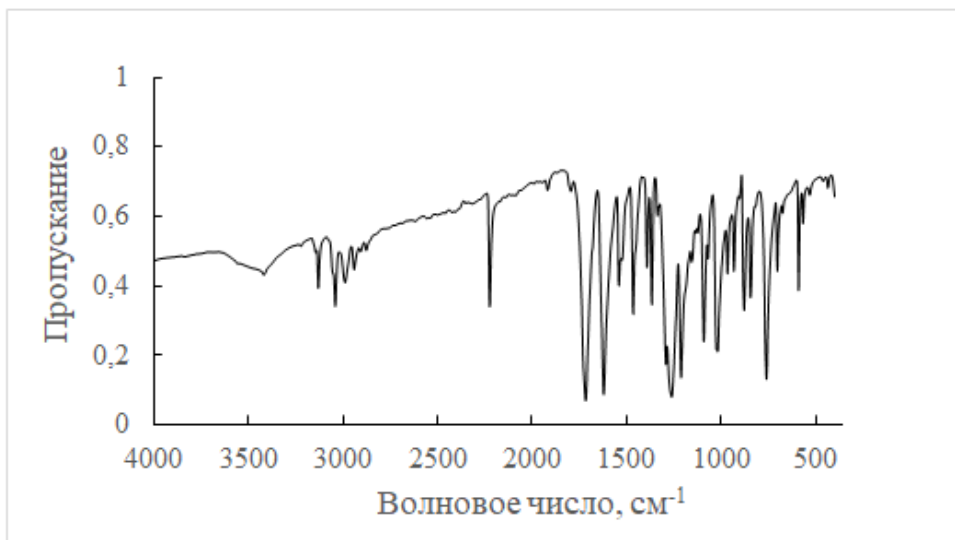


Рис. 2. ИК-спектр этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата

Таблица 1

Характеристические спектральные полосы этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата

Волновое число, см ⁻¹	Комментарий
3129	Валентное колебание =C–H фуранового кольца
3039	Валентное колебание =C–H пропенового фрагмента
2940	Антисимметричное валентное колебание C–H CH ₃ – и –CH ₂ – групп
2876	Симметричное валентное колебание C–H CH ₃ – и –CH ₂ – групп
2223	Валентное колебание C≡N α, β – ненасыщенных нитрилов
1716	Валентное колебание C=O α, β – ненасыщенных сложных эфиров
1621	Валентное колебание C=C в составе системы сопряжения (C=C–C=O)

С помощью квантово-химических расчетов в приближении теории функционала плотности DFT B3LYP/6–311++G(d, p) с использованием комплекса программ Gaussian получена геометрия наиболее устойчивого конформера, частоты нормальных колебаний, потенциальная функция вращения волчков, входящих в состав молекулы этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата.

Структура наиболее устойчивого конформера этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата хорошо соотносится со его структурой в кристаллическом состоянии, которая изучалась методом рентгенографии [4].

Рассчитанные частоты нормальных колебаний согласуются с экспериментально полученным ИК-спектром изучаемого соединения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Теплоемкость – основополагающая характеристика большого количества термических и термохимических расчетов. Экспериментально полученные значения теплоемкости этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата в конденсированном состоянии позволили рассчитать другие термодинамические функции.

Термодинамические функции этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата в состоянии идеального газа рассчитывались методом статистической термодинамики. Рассчитанные значения теплоемкости в газообразном состоянии хорошо согласуются с вычисленными по аддитивной схеме Джобака.

Плавление этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата

Значение температуры плавления устанавливалось путем экстраполяции температурной зависимости эффективной теплоемкости нисходящей ветви пика плавления на кривую теплоемкости жидкости с учетом поправки на чистоту образца и составило 364.09 ± 0.02 К. Энтальпия плавления составила 29.35 ± 0.02 кДж·моль⁻¹. Вычисленная по методу Джобака энтальпия плавления этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата составляет 29.32 кДж·моль⁻¹, что хорошо сопоставляется с экспериментально полученным значением.

Энтальпия сублимации

Сублимация, или возгонка, – фазовый переход первого рода, при котором вещество из кристаллического состояния превращается в парообразное, минуя жидкую фазу. Сублимация достаточно редко происходит при 298.15 К, следовательно, развиваются методы, позволяющие проводить пересчет от $\Delta_{\text{sub}}H(T_{\text{fus}})$ до $\Delta_{\text{sub}}H(298.15 \text{ К})$. Точный расчет энтальпии сублимации при 298.15 К предполагает использование температурной зависимости теплоёмкости в газообразном и кристаллическом состояниях и проводится по формуле:

$$\Delta_{\text{sub}}H^{\circ}(298.15) = \Delta_{\text{sub}}H^{\circ}(T_{\text{sub}}) + \int_{298.15}^{T_{\text{sub}}} C_p^{\circ}(\text{cr}) dT - \int_{298.15}^{T_{\text{sub}}} C_p^{\circ}(\text{g}) dT$$

**Расчет энтальпии сублимации при 298.15 К
этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата**

T_{sub}, K	$\Delta_{sub}H^{\circ}(T_{sub}),$ кДж·моль ⁻¹	$\int_{298.15}^{T_{sub}} C_p^{\circ}(cr) dT,$ кДж·моль ⁻¹	$\int_{298.15}^{T_{sub}} C_p^{\circ}(g) dT,$ кДж·моль ⁻¹	$\Delta_{sub}H^{\circ}(298.15),$ кДж·моль ⁻¹
331.0 [5]	101.3 ± 5.3 [5]	8.649	7.062	102.9 ± 5.3

Значение стандартной энтальпии сублимации при 298.15 К рассчитанное с использованием изобарных теплоемкостей составило 102.9 ± 5.3 кДж·моль⁻¹.

Стандартная энтальпия сублимации этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата, вычисленная с помощью метода изодесмических реакций (12 уравнений), составила 101.6 ± 4.6 кДж·моль⁻¹.

Полученные значения энтальпии сублимации этил-2-циано-3-(2-фурил)-2-пропеноата хорошо согласуются между собой.

Библиографические ссылки

1. *Ohmatsu, K., Imagawa, N., Ooi, T.* Ligand-enabled multiple absolute stereocontrol in metal-catalysed cycloaddition for construction of contiguous all-carbon quaternary stereocentres // *Nature Chemistry*. 2013. Т. 6(1). С. 47–51. DOI:10.1038/nchem.1796.
2. *Chen, Z., Wen, H., Li, W., Zhou, J., Hu, J., Xia, W.* One-Pot Synthesis of 2-Oxazolines from Ethyl α -Cyanocinnamate Derivatives with N-Bromoacetamide // *Journal of Heterocyclic Chemistry*. 2013. Т. 51(3). С. 794–802. DOI:10.1002/jhet.1902.
3. *Brian Castro Agudelo, Juan C. Cárdenas, Mario A. Macías, Cristian Ochoa-Puentes, Cesar A. Sierra* Crystal structure of ethyl (E)-2-cyano-3-(thio-phen-2-yl)acrylate: two conformers forming a discrete disorder // *Acta Crystallographica Section E*. 2017. Т. 73(9). С. 1287-1289. DOI: 10.1107/S2056989017010799.
4. *Kalkhambkar, R. G., Gayathri, D., Gupta, V. K., Kant, R., Jeong, Y. T.* (E)-Ethyl 2-cyano-3-(furan-2-yl)acrylate // *Acta Crystallographica Section E Structure Reports Online*. 2012. Т. 68(5). С. o1482–o1482. DOI:10.1107/s1600536812016510.
5. *Kos R., Sobechko I., Horak Y., Sergeev V., Dibrivnyi V.* Thermodynamic Characteristics of Ethyl-2-cyano-3-(furan-2-yl)-prop-2-enoate Derivatives // *Modern Organic Chemistry Research*. 2017. Т. 2(2). С. 74–80. DOI: 10.22606/mocr.2017.22006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА КОМПОЗИТОВ В СИСТЕМАХ AL-FUMARATE/Fe₃O₄

Д. Ю. Сахаревич, А. С. Тимоненкова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

dsakharevich@yandex.by

науч. рук. – В. В. Паньков, д-р хим. наук, проф.

В рамках данной работы получены два типа композиционных структур, содержащих фумарат алюминия и магнетит. Композитные частицы Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆ со структурой ядро–оболочка получены методом послойной сборки, который позволяет контролировать магнитные свойства композита путем изменения количества магнетита, адсорбируемого на поверхности частиц фумарата алюминия. Частицы композита Fe₃O₄/Al-fumarate получены добавлением магнетита к реакционной смеси непосредственно во время синтеза фумарата алюминия. Содержание магнетита в частицах композитов Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆ и Fe₃O₄/Al-fumarate, установленное спектрофотометрически по методике [1], составляет 58,6% и 9,4% соответственно. Композиционные структуры исследованы методами рентгеновской и ИК-спектроскопии, а также получены изображения методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Ключевые слова: магнитные композиты, металлоорганические координационные полимеры, метод послойной сборки.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается относительно новый класс соединений: металлоорганические координационные полимеры, особый интерес к которым обусловлен высокой площадью поверхности и стабильной микро/мезопористой структурой. Благодаря своим свойствам МОКП нашли широкое применение и их потенциал продолжает увеличиваться. Они применяются для доставки лекарств, адсорбции газов, ядовитых веществ, тяжелых металлов, в пищевой промышленности и это далеко не конец списка.

В последние годы приоритетным направлением является создание различных композитов на основе МОКП в целях улучшения характеристик и расширения сфер их применения. В частности, композиционные структуры, обладающие магнитными свойствами, могут применяться в качестве катализатора, который легко выводится из системы под действием внешнего магнитного поля, а также для доставки лекарств благодаря контролируемому высвобождению действующего вещества, совмещенному с возможностью магнитной гипертермии.

В данной работе были получены композиционные структуры двух типов: $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al-fumarate}$, в котором частицы магнетита окружены фумаратом алюминия, и $\text{Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe}_3\text{O}_4)_6$, в котором частицы фумарата алюминия покрыты оболочкой из 6 бислоев состава полиэлектrolит/магнетит. Стоит отметить, что в литературе широко упоминаются композиты, в которых магнитная фаза окружена оболочкой из МОКП. Однако исследований в области получения структур методом послойной сборки, в которых ядро из МОКП было бы окружено магнетитом, на данный момент не представлено.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Магнетит Fe_3O_4 был получен по методу соосаждения приготовлением раствора солей железа, содержащего Fe^{3+} и Fe^{2+} в стехиометрическом соотношении 2:1 с добавлением 5% избытка Fe^{2+} . [2]

Фумарат алюминия был получен последовательным смешением трех растворов. Раствор 1: 25,2 г гидроксида натрия в 160 г воды; раствор 2: 24,3 г фумаровой кислоты в 200 г воды; раствор 3: 70 г 18-ти водного сульфата алюминия в 300 г воды.

Синтез $\text{Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe}_3\text{O}_4)_6$ осуществлен методом послойной сборки. [3]. Порошок Al-fum (80 мг) диспергировали ультразвуком в 18 мл дистиллированной воды в течение 20 с. Затем добавили 2 мл раствора полистиролсульфоната натрия (PSS) с концентрацией 10 мг/мл и обработали ультразвуком 1 мин. Микрочастицы с оболочкой отделяли от избытка полиэлектrolита центрифугированием, далее промывали дистиллированной водой и диспергировали в 10 мл H_2O . Затем цикл повторяли для получения 6 бислоев, используя растворы полидиаллилдиметиламмоний хлорида (PDDA, 200 кДа) или Fe_3O_4 , стабилизированного цитрат ионами. Выход порошка близок к 80 %, что связано с небольшими потерями мелких частиц композита в каждом цикле центрифугирования. Для диспергирования использовалась ультразвуковая ванна “Сапфир”, Россия с рабочей частотой 35 кГц и погружной ультразвуковой диспергатор УЗГ-13-0,1/22.

Для получения композита $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al-fumarate}$ приготовили 132 мл дисперсии магнетита с концентрацией Fe_3O_4 , равной $21,3 \pm 0,2$ мг/мл, которую прилили к смеси растворов гидроксида натрия (25,2 г гидроксида натрия в 160 г воды) и фумаровой кислоты (24,3 г фумаровой кислоты в 200 г воды). Полученную смесь в течении 10 мин при постоянном перемешивании на магнитной мешалке приливали к раствору 70 г 18-ти водного сульфата алюминия в 300 г воды. Образовавшийся темно-коричневый осадок отделяли и промывали с использованием вакуумного фильтрования при помощи воронки Бюхнера и колбы Бунзена. Образец сушили в сушильном шкафу

при 100 °С в течение 24 ч, затем в вакуумном сушильном шкафу при 130 °С 24 ч. Для получения порошка образец измельчили в ступке.

Установление массовой доли магнетита проводилось по методике определения общего железа с о-фенантролином. [1]

ИК-спектры микрочастиц Fe_3O_4 , Al-fumarate, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al-fumarate}$ и Al-fumarate/PSS/(PDDA/ Fe_3O_4)₆ получали на приборе Tensor 27 (“Bruker”, США) в таблетках KBr. Исследование морфологии и размеров полученных частиц проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO-1420 (“Carl Zeiss”, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фазовую идентификацию полученных композиционных структур Al-fumarate/PSS/(PDDA/ Fe_3O_4)₆ и $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al-fumarate}$, с содержанием магнетита 58,6% и 9,4% соответственно, провели с помощью рентгеновских спектров, зарегистрированных на $\text{CoK}\alpha$ излучении (рис. 1).

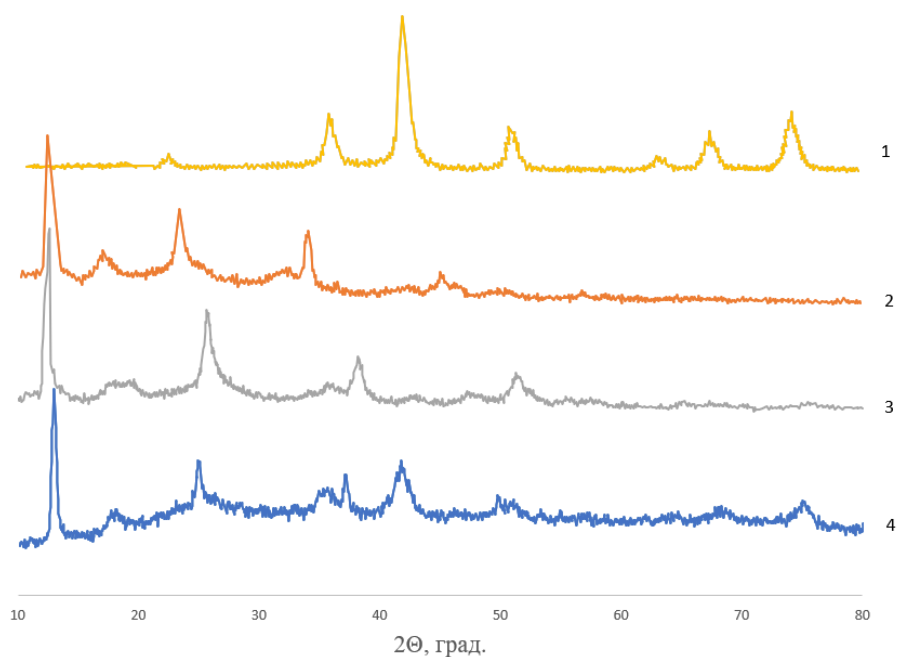


Рис. 1. Рентгеновские спектры: 1 - Fe_3O_4 , 2 - Al-fumarate, 3 - $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al-fumarate}$, 4 - Al-fumarate/PSS/(PDDA/ Fe_3O_4)₆

По рентгеновским спектрам можно заметить совпадения положений рефлексов полученных композиционных структур с характерными для фумарата алюминия и магнетита. В некоторых местах происходят их наложения, затрудняющие анализ. Однако дифракционных рефлексов от других кристаллических форм обнаружено не было, что свидетельствует о том, что образцы имели высокую чистоту и кристалличность.

ИК-спектры исследуемых образцов Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆ и Fe₃O₄/Al-fumarate также говорят о содержании в них Al-fumarate и Fe₃O₄ (рис. 2).

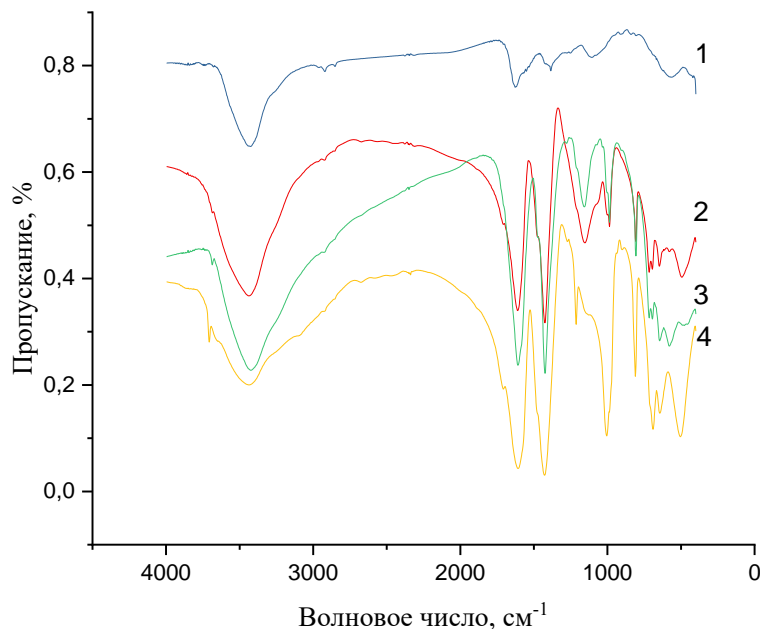


Рис. 2. ИК-спектр образцов: 1 – Fe₃O₄, 2 – Al-fumarate, 3 – Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆, 4 – Fe₃O₄/Al-fumarate

В ИК-спектре композитов Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆ и Fe₃O₄/Al-fumarate присутствуют интенсивные полосы поглощения, характерные для металлорганического полимера и магнетита. Широкие пики с максимумами в области 3425 см⁻¹, соответствующие валентным колебанием –ОН группы, во всех спектрах свидетельствуют о наличии сорбированной воды. Полосы 1610 и 1430 см⁻¹ можно связать с асимметричными и симметричными валентными колебаниями карбоксильных групп фумарата и цитрата, в случае Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆. Спектр композитов в диапазоне 1200-480 см⁻¹ свидетельствует о наличии колебаний связи Al-O, присутствующей в Al-fumarate, и связи Fe-O с полосой поглощения 582 см⁻¹.

Для композитов Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆ и Fe₃O₄/Al-fumarate получены изображения методом сканирующей электронной микроскопии. Микрофотографии показывают, что частицы имеют неправильную форму с размерами до 200 нанометров для случая магнетита покрытого оболочкой МОКП. Кристаллы Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆ имеют меньший диаметр, не превышающий 100 нанометров.

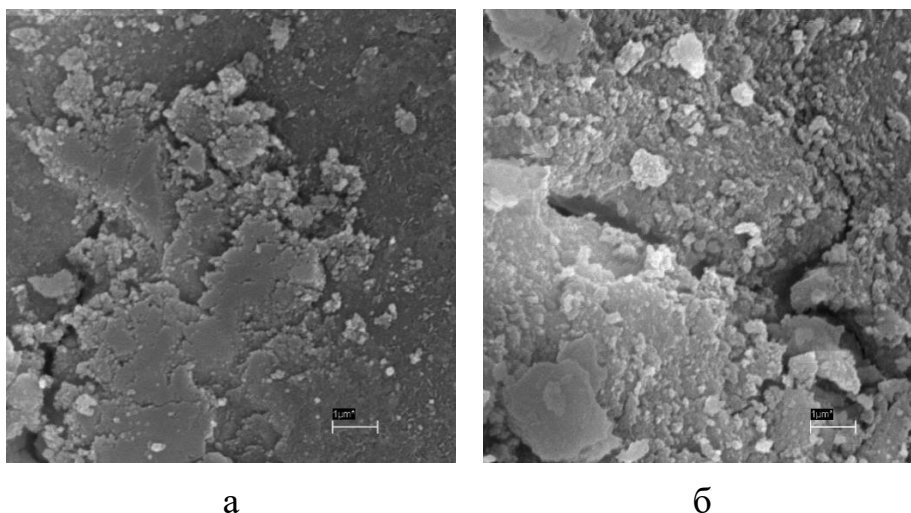


Рис. 3. СЭМ изображение частиц композитов: а) Al-fumarate/PSS/(PDDA/Fe₃O₄)₆, б) Fe₃O₄/Al-fumarate

Следует отметить, что наночастицы магнетита в полученных композициях сохраняют свои магнитные свойства, что позволяет использовать приведенные методы модификации порошков различных каркасных металл-органических полимеров.

Библиографические ссылки

1. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа: ГОСТ 4011-72. – Введ. 01.04.1974. – М.: Госстандарт, 1972. – 8 с.
2. *Khalil, M. I.* Co-precipitation in aqueous solution synthesis of magnetite nanoparticles using iron (III) salts as precursors / M. I. Khalil // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2015. – Vol. 8. – Iss. 2. – P. 279–284.
3. *Shutava, T.G.* Cooperative effect of polyethylene glycol-grafted chitosan and albumin on layer-by-layer nanocapsules stability / T. G. Shutava, K. S. Livanovich, V. V. Pankov // *Colloids Surf. A*. — 2018. — V. 539. — P.69—79.

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ ПРОПАНДИОЛА-1,2 И БУТАНДИОЛОВ-1,2 И -2,3 В ДЕАЭРИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

О. В. Урбанович, Е.А. Пантелеева, А.И. Давыденко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

olga.urbanovich@gmail.com;

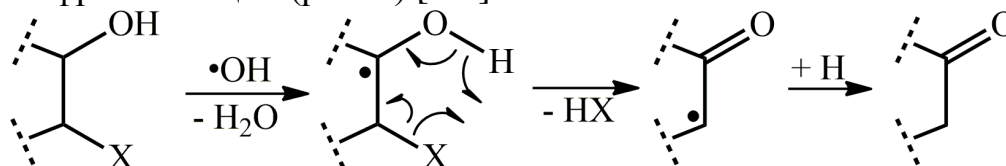
науч. рук. – Р. Л. Свердлов, канд. хим. наук, доцент

В рамках работы была исследована устойчивость α -диолов к свободнорадикальной фрагментации в деаэрированных водных растворах при pH 7, определены состав и радиационно-химические выходы продуктов их превращений. Было показано, что α -диоли с терминальным расположением гидроксильных групп (1,2-пропандиол и 1,2-бутандиол) обладают меньшей радиационной стойкостью, чем α -диол с нетерминальным расположением гидроксильных групп (2,3-бутандиол). Полученные результаты важны для изучения механизмов протекания свободнорадикальных реакций фрагментации гидроксилсодержащих участков биомолекул, индуцируемых ионизирующим излучением.

Ключевые слова: радиолиз; свободные радикалы; свободнорадикальная фрагментация; вицинальные диолы; 1,2-пропандиол, 1,2-бутандиол; 2,3-бутандиол.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях гипоксии, значительный вклад в повреждение биомолекул, помимо реакций окисления, могут вносить реакции свободнорадикальной фрагментации (рис. 1) [1-7]:



X = -OH, -OCOR, -OR, -NH₂, -NHCOR, -OPO₃H₂, -OPO(OR)₂, и т.п.

Рис. 1. Общая схема свободнорадикальной фрагментации

Фрагментация является причиной деструкции различных классов химических соединений: фосфолипидов, рибонуклеотидов, углеводов, аминокислот и белков. Вицинальные диолы и их производные могут быть использованы в качестве модельных соединений для исследования радиационно-индуцированных свободнорадикальных превращений гидроксилсодержащих биомолекул. Чтобы смоделировать сложные соединения с терминальным расположением вицинальных гидроксильных групп были исследованы 1,2-пропандиол и 1,2-бутандиол, а с нетерминальным расположением – 2,3-бутандиол.

Таким образом, настоящая работа посвящена изучению влияния расположения вицинальных гидроксилсодержащих групп на степень протекания реакций свободнорадикальной фрагментации биомолекул, индуцированных ионизирующим излучением на примере α -диолов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе без предварительной очистки использовали пропандиол-1,2 (ПД-1,2), бутандиол-1,2 (БД-1,2), бутандиол-2,3 (БД-2,3) не менее 98% чистоты фирмы Aldrich и Sigma-Aldrich (рис. 2). Для приготовления водных растворов исследуемых соединений и используемых реактивов применялась свежеприготовленная бидистиллированная вода. Для приготовления растворов стандартов использовали ацетон, пропаналь, метилэтилкетон и бутаналь не менее 97% чистоты фирмы AppliChem, Fluka и Sigma-Aldrich. Для приготовления буферных растворов использовали дигидрофосфат калия и гидрофосфат натрия 99% чистоты фирмы Sigma-Aldrich. Для дериватизации образцов в работе использовали 2,4-динитрофенилгидразин (ДНФГ) фирмы Sigma-Aldrich, который предварительно подвергли перекристаллизации из ацетонитрила [8]. Для приготовления растворов α -диолов с концентрацией 1 моль/л, вещества растворяли в 50 мМ фосфатном буфере ($\text{pH} = 7.00 \pm 0.10$).

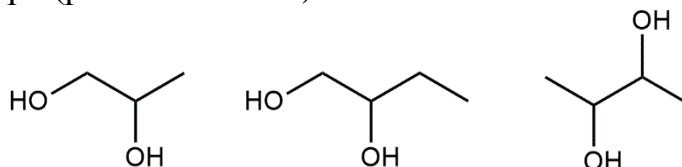


Рис. 2. Структурные формулы использованных соединений

Продувка стеклянных ампул с растворами исследуемых веществ для удаления кислорода проводилась аргоном (объемная доля Ar не менее 99.993%) в течение 60 минут. Приготовленные растворы облучались на установке МРХ- γ -25М (γ -излучение изотопа ^{60}Co). Мощность поглощенной дозы составляла 0.086 ± 0.007 Гр/с, интервал поглощенных доз – 0.10-0.62 кГр.

Для анализа карбонильных продуктов радиационно-индуцированной дегидратации 1,2-пропандиола использовали дериватирующий раствор ДНФГ (0.03 г ДНФГ, 6.2 мл 36% HCl, до 100 мл разбавляли метанолом). Растворы исследуемых веществ после облучения смешивали с раствором ДНФГ в соотношении 1:1, виалы оставляли для протекания реакции на 15 минут в защищенном от света месте, после чего проводили хроматографический анализ.

Качественный и количественный анализ образующихся ацетона и пропаналя проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

на хроматографе «Shimadzu» (Япония) с использованием детектора на диодной матрице SPD-M20A при длине волны 365 нм. Условия хроматографирования: колонка Shim-pack VP-ODS (длина – 150 мм, внутренний диаметр – 4.6 мм, размер зёрен – 4.6 мкм); элюент – ацетонитрил:вода (50:50 об./об.); скорость подачи элюента 0.8 мл/мин; температура термостата составляла 40 °С; объём вводимой пробы –1 мкл.

Продукты радиационно-индуцированной дегидратации БД-1,2 и БД-2,3 – метилэтилкетон и бутаналь – определяли на газовом хроматографе GC-2010 (Shimadzu, Япония), оснащённом пламенно-ионизационным детектором, колонкой RT Q-BOND (30 м, 0.32 мм внутренний диаметр, 10 мкм толщина плёнки неподвижной фазы). Качественный и количественный анализ проводили с использованием внешнего стандарта.

Для проведения анализа продуктов превращений 1,2-бутандиола на хроматографе GC-2010 использовали следующие параметры: начальная температура 100°С, скорость подъема до 180°С – 5°С/мин., а до 250°С – 10°С/мин. Для проведения анализа продуктов превращений 2,3-бутандиола использовали следующие параметры: начальная температура 60°С, скорость подъема до 250°С – 10°С/мин, температура инжектора – 250°С; температура детектора – 250°С; газ-носитель – гелий; объём задаваемой пробы – 1 мкл.

Радиационно-химические (G) выходы образования продуктов реакций рассчитывали на линейных участках зависимости концентраций веществ от поглощенной дозы. Статистическую обработку результатов эксперимента и расчёт значения ошибки определения радиационно-химических выходов проводили методом наименьших квадратов с использованием коэффициента доверительной вероятности 0.95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Свободнорадикальные превращения веществ в водных растворах при γ -облучении инициируются продуктами радиолиза воды, наиболее реакционноспособными из которых являются ОН-радикалы. В ходе работы было установлено •ОН-индуцированное накопление таких конечных продуктов свободнорадикальной дегидратации вицинальных диолов как ацетон, пропионовый альдегид, метилэтилкетон (МЭК) и масляный альдегид. В таблице 1 приведены полученные в ходе эксперимента радиационно-химические выходы продуктов радиационно-индуцированной дегидратации исходных молекул.

Радиационно-химические выходы продуктов радиационно-индуцированной дегидратации α -диолов в 1 М растворах

	1,2-пропандиол	1,2-бутандиол	2,3-бутандиол
Основной продукт дегидратации	14.41±1.28 (ацетон)	9.07±0.35 (метилэтилкетон)	1.77±0.13 (метилэтилкетон)
Второстепенный продукт дегидратации	1.29±0.28 (пропаналь)	0.99±0.09 (бутаналь)	—

Только для α -диолов с терминальным расположением гидроксильных групп (ПД-1,2 и БД-1,2) наблюдались цепные радиационно-химические выходы образования продуктов дегидратации ацетона и МЭК (табл. 1). Такие отличия в выходах продуктов дегидратации обусловлены строением и реакционной способностью исходных молекул и промежуточных радикальных частиц. При радиоллизе 1,2-пропандиола и 1,2-бутандиола образуются два углерод-центрированных радикала **A1** и **A2**, превращения которых дают два продукта дегидратации исходного соединения – ацетон и пропионовый альдегид в случае ПД-1,2 и метилэтилкетон и масляный альдегид в случае БД-1,2 (рис. 3) [1]. Радикалы **A1'** и **A2'**, образующиеся после дегидратации радикалов **A1** и **A2** соответственно, могут отрывать атом водорода от исходной молекулы, образуя снова радикалы **A1** и **A2**. На основании высоких выходов продуктов дегидратации можно судить о большей активности первичных β -карбонильных радикалов **A2'**, по сравнению с радикалами **A1'**. Кроме того, радикалы **A1**, вероятно, могут превращаться в более стабильные радикалы **A2** по механизму 1,2-миграции атома водорода, тем самым увеличивая количество радикалов **A2'** в системе и количество ацетона и метилэтилкетона.

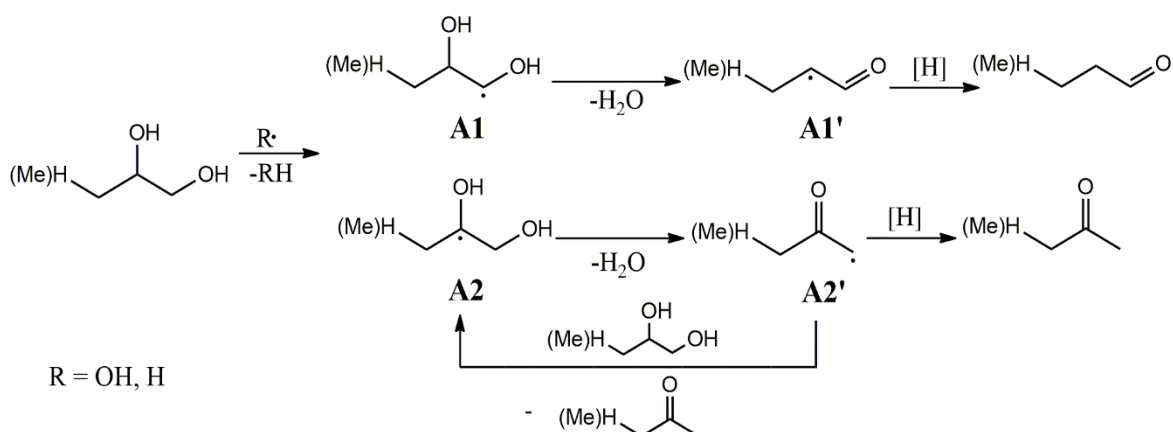


Рис. 3. Механизм образования продуктов дегидратации ПД-1,2 и БД-1,2

Для бутандиола-2,3, который имеет симметричную структуру, характерно образование только одного продукта дегидратации: МЭК из радикала **B** (рис. 4). Радиационно-химический выход продукта дегидратации не превышает суммарного выхода радикальных частиц-инициаторов

(табл. 1), что, по-видимому, обусловлено расположением гидроксильных групп в молекуле у вторичных атомов углерода. В результате дегидратации радикала **B** образуется более устойчивый вторичный радикал **B'** (аналогичен структуре радикала **A1'**), который за счёт стерических затруднений не способен отрывать атом водорода от исходной молекулы с образованием радикала **B** и цепной процесс фрагментации не реализуется.

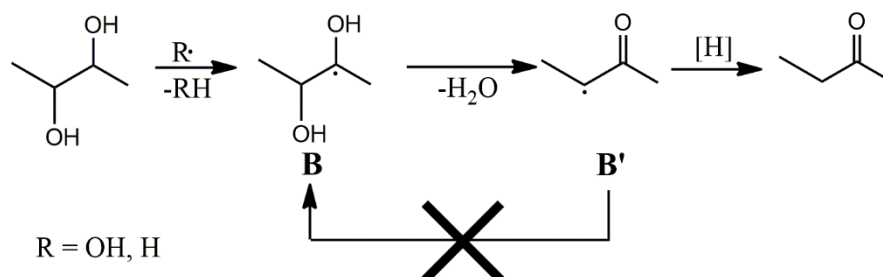


Рис. 4. Механизм образования продуктов дегидратации 2,3-бутандиола

Таким образом, в ходе работы было установлено, что для молекул с терминально (на концевом атоме углерода) расположенными вицинальными OH-группами первичные β-карбонильные радикалы обеспечивают протекание свободнорадикальной дегидратации с короткоцепными выходами. Для молекул, в которых OH-группы расположены вицинально на вторичных атомах углерода, дегидратация осуществляется менее активно.

Библиографические ссылки

1. Петряев, Е. П. Радиационная химия бифункциональных органических соединений / Е. П. Петряев, О. И. Шадыро. – Минск: Университетское, 1986. – 166 с.
2. Radiation-induced fragmentation of cardiolipin in a model membrane / O.I. Shadyro [et al.] // Int. J. Rad. Biol. – 2004. – Vol. 80, № 3. – P. 239–245.
3. Formation of phosphatidic acid, ceramide, and diglyceride on radiolysis of lipids: identification by MALDI-TOF mass spectrometry / O.I. Shadyro [et al.] // Free Rad. Biol. Med. – 2004. – Vol. 36, № 12. – P. 1612–1624.
4. Radiation-induced free-radical transformation of phospholipids: MALDI-TOF MS study / O.I. Shadyro [et al.] // Chem. Phys. Lipids. – 2004. – Vol. 132, № 2. – P. 235–246.
5. Iron-Mediated free-radical formation of signaling lipids in a model system / I. Yurkova [et al.] // Chem. Phys. Lipids. – 2005. – Vol. 137, № 1-2. – P. 29–37.
6. Dopamine and iron mediated fragmentation of galactocerebroside and cardiolipin in micelles / I.L. Yurkova [et al.] // Cent. Eur. J. Chem. – 2007. – Vol. 5, № 4. – P. 970–980.
7. Radiation-induced destruction of hydroxyl-containing amino acids and dipeptides / A.A. Sladkova [et al.] // Radiat. Phys. Chem. – 2012. – Vol. 81, № 12. – P. 1896–1903.
8. Armarego, W.L.F. Purification of Laboratory Chemicals (Sixth Edition) / W.L.F. Armarego, C. Chai. – U.S.A.: Butterworth-Heinemann, 2009. – 760 p.

ПОЛУЧЕНИЕ КАПСУЛ И ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ ДЕКСТРАНА И ХИТОЗАНА ДЛЯ ДОСТАВКИ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ВЕЩЕСТВА ПРОСПИДИНА

Черкасова А.В.^{1,2}, Соломевич С.О.²

*1Белорусский государственный университет, Минск,
2НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск,
sasha.chierkasova.2001@mail.ru*

В данной работе были изучены закономерности формирования хитозан/декстран-фосфатных капсул (CS-DP) с гидрогелевым ядром за счет образования полиэлектролитных комплексов и кальций/декстранфосфатных гранул (Ca-DP) методом ионного гелеобразования в качестве носителей для доставки противоопухолевого вещества проспицина. Были установлены условия получения капсул и гранул и их морфология. Показано, что величина равновесного набухания для капсул больше, чем для гранул, и зависит от pH среды. Было показано, что капсулы CS-DP характеризуются большей сорбционной способностью по отношению к проспицину в сравнении с гранулами Ca-DP. Кинетика высвобождения цитостатика из CS-DP и Ca-DP была исследована *in vitro* при различных значениях pH, и было доказано пролонгированное высвобождение проспицина. Таким образом, впервые синтезированные pH-чувствительные гранулы Ca-DP и капсулы CS-DP являются перспективными кандидатами для использования в качестве новых систем доставки лекарств.

Ключевые слова: хитозан, фосфат декстрана, проспицин, полиэлектролитные комплексы, капсулы, гранулы, высвобождение.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время исключительный интерес в качестве систем доставки лекарственных веществ представляют полиэлектролитные комплексы (ПЭК) на основе полисахаридов, получаемые взаимодействием двух полиэлектролитных полимеров за счет сильной, но обратимой электростатической и диполь-дипольной ассоциации, а также реализации водородных и гидрофобных связей функционально-активных полисахаридов [1,2]. В отличие от химически сшитых комплексов, ПЭК обычно нетоксичны, соответствуют критериям биodeградации и биосовместимости [3]. В качестве катионного полисахарида для формирования ПЭК наиболее часто используется хитозан, полиэлектролитные комплексы которого с рядом природных и синтетических полианионов представляют интерес для использования в пищевой промышленности, биомедицине, фармации, в том числе и в качестве систем доставки лекарственных веществ. Фосфаты полисахаридов представляют особый интерес в создании ПЭК с хитозаном, потому что они

характеризуются низкой токсичностью, биоразлагаемостью, биосовместимостью, высокой сорбционной способностью по отношению к низко- и высокомолекулярным биологически активным веществам [4].

Проспидин (Pr) является широко используемым для лечения многих видов злокачественных новообразований противоопухолевым веществом, обладает местным типом действия, хотя и демонстрирует разную степень активности, что связано с быстрым выведением цитостатика из организма [5]. Целью этой работы было получение новых лекарственных форм проспицина в виде хитозан/декстранфосфатных капсул (CS-DP) с гидрогелевым ядром за счет образования полиэлектролитных комплексов и кальций/декстранфосфатных гранул (Ca-DP) за счет ионного сшивания кальцием и сравнение для них степени иммобилизации и скорости релиза противоопухолевого вещества.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе в качестве исходных материалов использовали фосфат декстрана с содержанием фосфатных групп 2,29 и 2,53 ммоль/г для водорастворимого (среднемассовая молекулярная масса 271 кДа) и гелеобразующего (степень набухания в воде 82 г/г) образцов, соответственно, хитозан (среднемассовая молекулярная масса 181 кДа, степень деацетилирования 77,8%) и фармакопейную субстанцию проспицина хлорид (далее проспидин), синтезированную в УП «Унитехпром БГУ».

Гранулы Ca-DP, нагруженные проспидином (Pr-Ca-DP), были получены методом ионного гелеобразования. Для этого к раствору фосфата декстрана (40 мг/мл) добавляли раствор проспицина (20 мг/мл) при постоянном перемешивании, выдерживали в течение 1 часа для сорбции лекарственного вещества, полученный раствор по каплям добавляли к 3% раствору ацетата кальция. Процесс получения CS-DP, нагруженного проспидином (Pr-CS-DP), включал измельчение в лабораторном блендере, просеивание и коллекционирование порошков фосфата декстрана размером от 0,25 мм до 0,50 мм и от 1,00 мм до 1,50 мм (полученные затем на их основе капсулы далее были обозначены как CS-DP-S и CS-DP-B, соответственно). 50 мг полученных сухих порошков постепенно добавляли при перемешивании к 100 мг хитозана, растворенного в 25 мл 0,1 М уксусной кислоты, и оставляли на одни сутки для формирования капсул. 1,25 мл раствора проспицина (20 мг/мл) добавляли к капсулам и выдерживали в течение 8 часов для иммобилизации цитостатика. Полученные гранулы и капсулы были промыты деионизированной водой и лиофильно высушены в течение 48 часов.

Морфологию структурных элементов гранул Ca-DP и капсул CS-DP исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе LEO 1420. рН-зависимое набухание гранул Ca-DP и капсул CS-DP было изучено путем погружения образцов в буферные растворы с рН 2,0 и 7,4 [5]. Высвобождение проспирина проводили в фосфатный буферный солевой раствор (рН 7,4 и 2,0) через диализную целлофановую мембрану [6]. Количество иммобилизованного и высвобожденного проспирина определяли модифицированным методом Кьельдаля [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Образование CS-DP с гидрогелевым ядром происходит за счет формирования полиэлектролитных комплексов при набухании гелеобразующего фосфата декстрана в растворе хитозана. В результате ядро капсул состоит преимущественно из гидрогеля фосфата декстрана и небольшого количества хитозана. Общее содержание фосфата декстрана в составе капсул составило 87,8% для CS-DP-S и 92,4% для CS-DP-B.

Было показано, что оптимальным массовым соотношением полисахаридов для формирования капсул является хитозан : фосфат декстрана = 2 : 1, в то время как при повышении содержания фосфата декстрана капсулы не могли быть сформированы из-за слипания частиц при их набухании. В результате такого способа синтеза CS-DP капсулы имеют неправильную форму, однако остаются стабильными при различных значениях рН в течение достаточно продолжительного времени. Было установлено, что оптимальная концентрация ацетата кальция для образования сферических гранул Ca-DP составляет 2-4%. Когда молярное соотношение выходило за пределы этого диапазона, гранулы не могли быть сформированы или имели плохую сферичность.

Полученные в ходе исследования данные (таблица 1) показали, что наибольшую степень набухания имеют капсулы CS-DP-S и CS-DP-B в среде с рН 7,4. Равновесное набухание для таких образцов составило 22,2 и 22,9 г/г, соответственно. В случае гранул Ca-DP равновесное набухание статистически не отличается при изменении рН из-за того, что большинство фосфорнокислых групп было связано ионами кальция.

Таблица 1

Равновесная степень набухания изученных образцов

Степень набухания, г/г					
Ca-DP		CS-DP-S		CS-DP-B	
рН 2,0	рН 7,4	рН 2,0	рН 7,4	рН 2,0	рН 7,4
6,3	7,5	11,6	22,2	12,8	22,9

При изучении сорбции противоопухолевого вещества проспирина были показано, что капсулы CS-DP по сравнению с гранулами Ca-DP проявляют значительно большую сорбционную способность по отношению к цитостатику (таблица 2). Данный факт можно объяснить отчасти различным строением капсул и гранул, что было подтверждено исследованием структуры образцов методом сканирующей электронной микроскопии. Т.к. капсулы имеют более пористую и волокнистую структуру, это позволяет большому количеству противоопухолевого вещества проникнуть в полость полимера. Для CS-DP количество инкапсулированного проспирина составляло более 90%, в то время как для Ca-DP не достигало и 40% также из-за того, что значительная часть фосфатных групп была связана ионами кальция и не могла взаимодействовать с цитостатиком [6].

Таблица 2

Инкапсуляция проспирина гранулами Ca-DP и капсулами CS-DP

Инкапсуляция, %		
Ca-DP	CS-DP-S	CS-DP-B
33,6	87,4	91,3

Все изученные образцы показали значительное пролонгирование высвобождения через целлофановую мембрану в сравнении с раствором проспирина за счет связывания цитостатика в результате ионно-обменной сорбции и/или его распределения в матрице образцов во время набухания. Количество высвобожденного вещества для растворимого фосфата декстрана, гелеобразующего фосфата декстрана, Ca-DP, CS-DP-S и CS-DP-B составило $91,5 \pm 3,9\%$, $68,5 \pm 2,4\%$, $34,8 \pm 1,4\%$, $20,3 \pm 1,6\%$ и $26,8\% \pm 2,4\%$ через 24 ч при pH 2,0 соответственно.

В случае Ca-DP уменьшение скорости высвобождения связано с низкой пористостью в результате связывания модифицированного полисахарида ионами кальция. Уменьшение скорости высвобождения проспирина для CS-DP капсул происходит за счет покрывания капсул хитозаном и, как результат, уменьшения пористости поверхности капсул при этом взаимодействии. Скорость высвобождения для Ca-DP выше в pH 2,0 по сравнению с pH 7,4 из-за того, что они могут подвергаться кислотно-катализируемому гидролизу [5]. Для CS-DP имела место обратная тенденция, а именно большая скорость высвобождения наблюдалась при pH 7,4 по сравнению с pH 2,0, что связано с депротонированием аминогрупп хитозана при повышении pH и ослаблением их взаимодействий с фосфатными группами. Скорость высвобождения противоопухолевого вещества ниже для CS-DP-B в сравнении с CS-DP-S, что может быть объяснено большим размером капсул, и, соответственно, более долгой диффузией лекарства. Резкого высвобождения не наблюдалось для CS-DP при различном pH и для Ca-DP в pH 2,0 несмотря на существенное уменьшение равновесной

степени набухания при изменении pH, что связано с сильным взаимодействием между фосфатом декстрана и проспидином и выравниванием профиля высвобождения при использовании капсул и гранул в сравнении с гидрогелями модифицированного полисахарида [6].

Библиографические ссылки

1. D. Wu, L. Zhu, Y. Li, X. Zhang, S. Xu, G. Yang, T. Delair, Chitosan-based Colloidal Polyelectrolyte Complexes for Drug Delivery: A Review, *Carbohydr. Polym.* 238 (2020) 116126.
2. X. Yang, H. Du, J. Liu, G. Zhai, Advanced Nanocarriers Based on Heparin and Its Derivatives for Cancer Management, *Biomacromolecules.* 16 (2015) 423–436.
3. S.J. de Jong, B. van Eerdenbrugh, C.F. van Nostrum, J.J. Kettenes-van den Bosch, W.E. Hennink, Physically crosslinked dextran hydrogels by stereocomplex formation of lactic acid oligomers: degradation and protein release behavior, *J. Control. Release.* 71 (2001) 261–275.
4. D. Merino, A.Y. Mansilla, T.J. Gutiérrez, C.A. Casalongué, V.A. Alvarez, Chitosan coated-phosphorylated starch films: Water interaction, transparency and antibacterial properties, *React. Funct. Polym.* 131 (2018) 445–453.
5. S.O. Solomevich, P.M. Bychkovsky, T.L. Yurkshtovich, N. V. Golub, P.Y. Mirchuk, M.Y. Revtovich, A.I. Shmak, Biodegradable pH-sensitive prospidine-loaded dextran phosphate based hydrogels for local tumor therapy, *Carbohydr. Polym.* 226 (2019) 115308.
6. Solomevich, S. O. Millimeter-sized chitosan/dextran phosphate capsules and calcium/dextran phosphate beads for regulating prospidine release / S. O. Solomevich, A. V. Cherkasova, D. A. Salamevich, // *Materials Letters.* 8 (2021) 129720.

ПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛАЗМЫ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С ЛЕГОЧНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

А. В. Шулганова¹, Н. В. Амаэгбери¹, Г. Н. Семенкова¹, И. Н. Брель²,
Т. Э. Владимирская², И. Э. Адзерихо²

¹Белорусский государственный университет, Минск;

²ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», Минск

annshulhanova@gmail.com;

науч.рук. – Амаэгбери Н.В., канд. биол. наук,

Пероксидазная активность плазмы крови здоровых людей и пациентов с легочной гипертензией была проанализирована спектрофотометрическим методом, основанным на определении скорости окисления 3,3',5,5'-тетраметилбензидина пероксидом водорода в присутствии миелопероксидазы в окрашенный продукт – 3,3',5,5'-тетраметилбензидиндиимин. Установлено, что уровень пероксидазной активности у больных легочной гипертензией выше, чем у здоровых людей.

Ключевые слова: легочная гипертензия; миелопероксидаза; воспаление; пероксид водорода; активные формы кислорода.

Легочная гипертензия (ЛГ) – клинический синдром с ограниченными терапевтическими возможностями и плохим прогнозом. Патофизиология ЛГ характеризуется повышенным тонусом сосудов и ремоделированием малого круга кровообращения, что приводит к развитию правожелудочковой недостаточности и преждевременной гибели пациентов [1]. Важным фактором, способствующим развитию ЛГ, является воспаление, одной из причин которого может быть развитие оксидативного стресса [2,3].

Одной из причин формирования оксидативного стресса является гиперпродукция активных форм кислорода и хлора. Эти активные интермедиаты продуцируются в очаге воспаления фагоцитами в результате активации ферментов НАДФН-оксидазы и миелопероксидазы (МПО). МПО является важным маркером воспаления. Определение активности этого фермента либо его количества важно для диагностики заболеваний, связанных с развитием воспаления [4,5]. Целью работы было определение пероксидазной активности МПО в плазме крови пациентов с ЛГ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы. Декстран, гистопак-1077, питательная среда RPMI-1640, Triton X-100, *Micrococcus lysodeikticus* («Sigma», США), компоненты для приготовления фосфатного буферного раствора (ФБР) («Анализ Х, Беларусь»).

Фосфатный буферный раствор собственного приготовления включал 137 ммоль/л NaCl, 2,7 ммоль/л KCl, 8 ммоль/л Na₂HPO₄, 15 ммоль/л KH₂PO₄, (pH 7,4).

Кровь пациентов получали в Минской областной клинической больнице, Боровляны.

Получение плазмы крови. Цельную кровь центрифугировали 15 мин при 3000 об/мин. Полученную плазму собирали в отдельные пробирки.

Определение пероксидазной активности МПО. Пероксидазную активность МПО в плазме крови оценивали по методу [6]. Исследуемый образец содержал 50 мкл плазмы в фосфатном буферном растворе, содержащем 0,1 М лимонной кислоты (pH 5,0) и 1,6 мМ тетраметилбензидина. Реакцию инициировали внесением 0,3 мМ раствора пероксида водорода. Образование 3,3',5,5'-тетраметилбензидиндиимина оценивали спектрофотометрически на спектрофлуориметре CM2203 «Solar» (Беларусь) на длине волны 650 нм, определяя оптическую плотность через 1 и 5 мин после начала реакции. Пероксидазную активность МПО выражали в мкМ ТМВ/(мин·мл плазмы). Измерения проводили при T = 37°C. Коэффициент молярной экстинкции 3,3',5,5'-тетраметилбензидиндиимина $\epsilon_{650} = 3,9 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 продемонстрировано изменение пероксидазной активности МПО в плазме крови здоровых людей (А) и пациентов с ЛГ (Б). Были проанализированы образцы, полученные из крови 7 здоровых людей и 4 пациентов с ЛГ до терапии. Один пациент (Макейчик) был обследован до (рис. 1Б (1)) и после (рис. 1Б (2)) терапии.

Видно, что уровень пероксидазной активности у больных ЛГ значительно выше, чем у здоровых людей. Исключение составляет один пациент (Конькова), у которой уровень измеряемого параметра такой же, как в контроле. После проведения терапии у пациента Макейчик пероксидазная активность МПО снизилась до контрольных значений.

Усредненные данные для пероксидазной активности плазмы крови здоровых людей и пациентов до терапии представлены на рис. 2. Из графика следует, что значения определяемого параметра в 8,2 раза выше у пациентов, чем у здоровых людей.

Из рис. 2 видно, что уровень пероксидазной активности у больных ЛГ в 8,2 раза выше, чем у здоровых людей. Полученные данные свидетельствуют о том, что у пациентов с ЛГ уровень МПО в плазме крови значительно повышен.

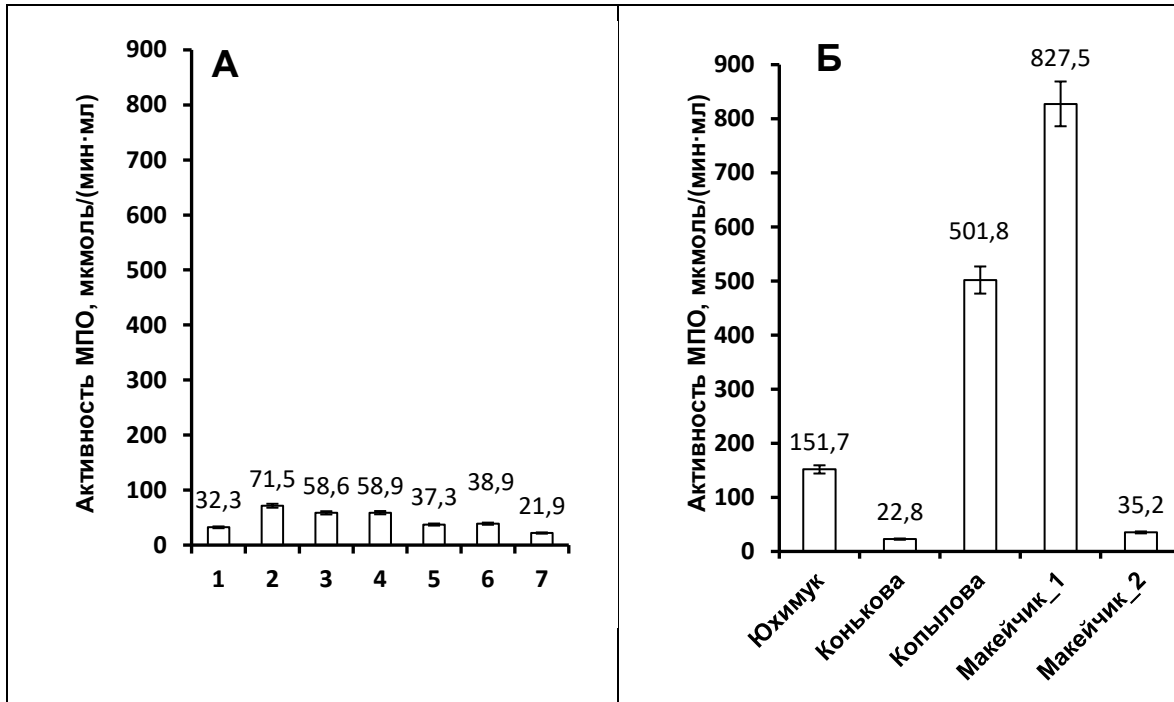


Рис. 1 – Peroксидазная активность МПО в плазме крови здоровых людей (А) и пациентов с ЛАГ (Б)

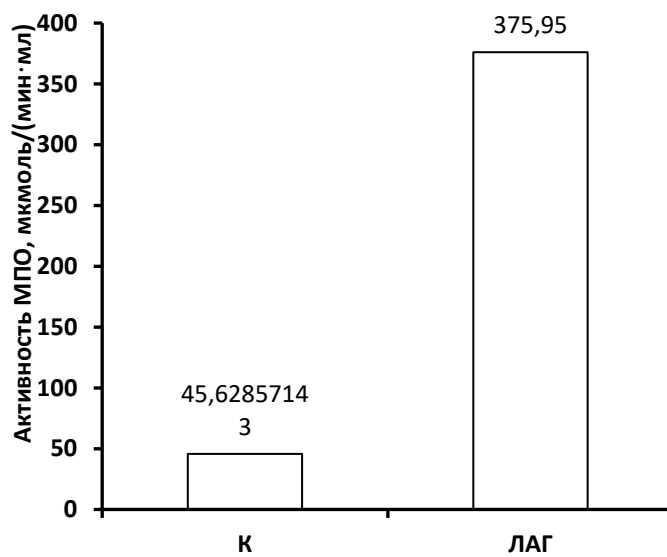


Рис. 2 – Peroксидазная активность МПО в плазме крови здоровых людей (К) и пациентов с ЛАГ (средние значения)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных данных следует, что у пациентов с ЛГ уровень секреции МПО из нейтрофилов и моноцитов во внеклеточную среду значительно превышает контрольные значения. Это свидетельствует о том, что у пациентов с ЛГ нейтрофилы и моноциты содержащие МПО, преактивированы уже в циркулирующей крови и готовы мигрировать в очаг воспаления, который локализован в ткани и сосудах легких. Можно заключить, что МПО является важным биомаркером воспаления при ЛГ. С другой стороны, МПО можно рассматривать в качестве потенциальной терапевтической мишени для подавления воспалительного процесса при лечении пациентов с этой патологией.

Библиографические ссылки

1. *Humbert M., Lynch III J.P.* Pulmonary Hypertension // Informa. Healthcare. 2009. № 18. P. 193–194
2. *C. Tang et al.* Characteristics of inflammation process in monocrotaline-induced pulmonary arterial hypertension in rats // Biomed Pharmacother. 2021. Vol. 133 (111081).
3. *Chami H., Hassoun P.* Immune and inflammatory mechanisms in pulmonary arterial hypertension // Prog. Cardiovasc. Dis. 2012. Vol. 55(2). P.218–228.
4. *Kettle A.J. Winterbourn C.C.* Myeloperoxidase: a key regulator of neutrophil oxidant production / A. J. Kettle, // Redox Rep. 1997. Vol. 3(1). P. 3–15.
5. *Arnhold J.* The dual role of myeloperoxidase in immune response // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – Vol. – 21 (8057).
6. *Pulli B. et al.* Measuring myeloperoxidase activity in biological samples // PLoS ONE. 2013. Vol. 8 (7).

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА (НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНОВ Г. МИНСКА)

М. А. Алиева, В. В. Петроченко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

m.alieva5030@gmail.com;

науч. рук. – А. А. Сазонов

Результатом градостроительства является среда общественной деятельности. Эффективность использования среды, выражаемая в денежном отношении и напрямую влияющая на экономику города, может определяться мерой комфортности среды. В данной работе произведен качественный и количественный градостроительный анализ структуры городского пространства микрорайонов города Минска для выявления комфортных градостроительных решений на основании аэрофотосъемки, открытых векторных данных OSM и маршрутных наблюдений. Выполнена оценка интенсивности градостроительного освоения на основе технико-экономических показателей (плотность жилого фонда, м²/га, плотность населения, чел/га, плотность улично-дорожной сети, м/га, общая жилая площадь, м² и др.), функциональное-типологическое зонирование с выделением жилой, социальной, зеленой, коммуникативно-обслуживающей и транспортно-коммуникативной зонами, анализ доступности объектов социальной инфраструктуры.

Ключевые слова: комфортность среды; градостроительная система; ортофото-план; градостроительный анализ; генеральный план; функциональное зонирование.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМФОРТНОСТЬ

Градостроительная система – совокупность пространственно-организованных и взаимосвязанных материальных элементов, с природными компонентами формирующих среду общественной жизнедеятельности [1]. Для описания любой градостроительной системы достаточным считается описание свойств системы: ценности территории и интенсивности ее освоения, качественно-типологических характеристик, целостности [2]. Одним из ключевых ориентиров развития градостроительной деятельности выступает комфортность среды – оптимальное для человека состояние окружающей социальной, экономической, природной, инфраструктурной среды, обеспечивающее здоровье и работоспособность отдельных людей или их сообществ [3]. Комфортность можно определить через оценку одного из компонентов городской среды или анализируя и давая комплексную оценку городского комплекса [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходными данными исследования послужили составленные ортофотопланы микрорайонов Каменная Горка-4 и Соснового квартала Новой Боровой, а также данные OSM. Съёмка осуществлялась с помощью DJI Mavic Mini, обработка материалов выполнялась в Agisoft PhotoScan.

Градостроительный анализ выполнялся с помощью геоинформационных систем QGIS и ArcGIS и включал несколько этапов: оцифровка градостроительных элементов; оценка интенсивности градостроительного освоения на основе технико-экономических показателей (плотность жилого фонда, м²/га, плотность населения, чел/га, плотность улично-дорожной сети, м/га, общая жилая площадь, м² и др); функционально-типологическое зонирование с выделением жилой, социальной, зеленой, коммуникативно-обслуживающей, транспортно-коммуникативной зон; анализ доступности объектов социальной инфраструктуры в пределах микрорайонов. Для оценки доступности был использован модуль Network analysis ArcGIS. Наборы сетевых данных построены отдельно для пешеходов и транспорта.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Анализ интенсивности градостроительного освоения. Характеристика интенсивности решается постановкой задачи размещения [2]. Базисом характеристики технико-экономических показателей (табл. 1) является Регламент В системы регламентов Генерального плана г. Минска.

Таблица 1

Интенсивность градостроительного освоения микрорайонов

Показатели	Микрорайоны	
	Каменная Горка – 4	Сосновый квартал
Площадь квартала, м ² и га	344 386,7 м ²	104 368,2 м ²
	34,4 га	10,4 га
Общая жилая площадь, м ²	338 392	143 640
Застроенность, %	14,5	18,2
	высокоплотная	высокоплотная
Интенсивность градостроительного освоения	1,13	1,4
	среднеплотная	высокоплотная
Средняя этажность микрорайона	4 (преобладают 9)	7 (преобладают 7)
Плотность жилого фонда, м ² /га	6379,75	6922,85
	высокоплотная	высокоплотная
Плотность населения (чел./га)	227	301
	среднеплотная	высокоплотная
Плотность улично-дорожной сети, м/га	230,7	273,01

Микрорайон Сосновый квартал в пределах Новой Боровой при меньшей площади и меньшей преобладающей этажности более интенсивно освоен в градостроительном плане.

Качественно-типологический анализ. Качественно-типологический анализ неразрывно связан с типологической и балансовой задачей [2]. По составленным планам функционально-типологического зонирования (рисунк) рассчитаны площади и доли выделенных зон.

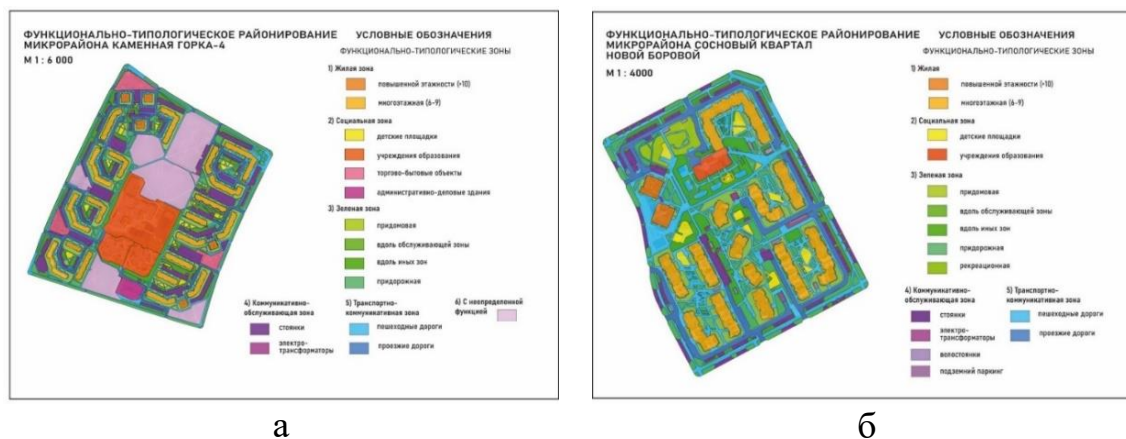


Рис. Функционально-типологическое зонирование микрорайонов:
а – Каменная горка - 4, б – Сосновый квартал

Озелененность в Сосновом квартале в 1,5 раза больше, а контур почти в 3 раза меньше, чем в Каменной Горке-4. На территории последней выделены пустыри, которые доминируют в северной части микрорайона и занимают большие площади, чем вся застройка (17,4% против 14,5 %). Медианное и среднее значения контуров достигают 0,75 и 0,85 га соответственно, средняя длина пересекающих их «троп» 98,5 м.

Стоянки в Каменной Горке занимают 1/10 часть территории, но в данном микрорайоне развит только наземный паркинг, а сами стоянки тяготеют к домам (рисунок). В Сосновом квартале стояночные места занимают меньше пространства (6,4%) и приурочены к периферийной части микрорайона, развит подземный паркинг.

Пешеходное пространство в Сосновом квартале в 2 раза больше, чем в Каменной Горке, детские площадки в пределах Соснового квартала занимают почти в три раза больше площади, чем в Каменной Горке, а сами площадки (по медиане) больше в два раза. В обоих микрорайонах площадки расположены в центрах дворовых территорий, это типовое градостроительное решение.

Анализ доступности. Ценность территории относительно дискретных градостроительных ресурсов определяется доступностью [2]. Доступность определяет связность территории. По результатам сетевого анализа составлена обобщающая таблица 2.

Таблица 2

Доступность важных локалитетов относительно микрорайонов

Пункты	Каменная Горка-4	Сосновый квартал
	Минимальные затраты времени (минуты)	
Транспортный граф		
Культурный центр	2	8
РОЧС	3	10
Дежурная часть милиции	4	11
Детская больница	7	6
Взрослая больница	5	3
Пожарная станция	3	2
Пешеходный граф		
Станция метро	26	32
Детский сад	3	4
Магазин	4	8
Общественный транспорт	5	6
Аптека	5,7	7,8
Банк	8	9
Школа	2	5
Парк	12	13
Спортзал	13	3
Почта	4	12

В целом, затраты времени на дорогу на личном транспорте в Сосновом квартале выше. В пешеходном графе данная топологическая особенность сохраняется – к большинству пунктов обслуживания жители Каменной Горке попадают быстрее (при средней скорости пешехода 5 км/ч).

Ряд оцененных показателей позволяют отнести микрорайон Сосновый квартал к более комфортной городской среде, однако расположение микрорайона относительно центра города может рассматриваться как негативный фактор.

Библиографические ссылки

1. *Груздев В. М.* Основы градостроительства и планировка населенных мест: учеб пособие. Н. Новгород: ННГАСУ, 2017.
2. *Яргина З. Н.* Градостроительный анализ. М.: Стройиздат, 1984.
3. *Сидоров, В. П.* Проблема оценки комфортности городского пространства // Сибирский город в фокусе гуманитарных исследований: к 400-летию: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (25-26 октября 2018 г., Новокузнецк). Новокузнецк: НФИ КемГУ; «Арт-экспресс», 2018. С. 339–342.
4. *Кочеткова Т. В., Алейникова Н. В.* Комфортность городской среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 66–72.

РАЗВИТИЕ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. К. Вишняк

Белорусский государственный университет, г. Минск;

ann.vishnyak@mail.ru;

науч. рук. – Н. С. Шевцова, канд. геогр. наук, доц.

Усиление процессов глобализации привело к развитию фармацевтики как направления химической промышленности не только в экономиках развитых стран постиндустриального этапа экономики, но и в развивающихся странах, а также в странах с переходным типом экономики, к числу которых относится Республика Беларусь. Цель исследования – оценка становления и современного состояния фармацевтической отрасли Республики Беларусь, где в качестве предмета исследования выступила история развития отрасли в нашей стране. Было выделено три этапа развития современной фармацевтической промышленности нашей страны, а приведенные статистические показатели за 2011-2019 гг., как наиболее динамичного периода развития отрасли, позволили выявить основные тренды развития отрасли в Беларуси.

Ключевые слова: дженерики; импортозамещение; фармацевтические препараты; фармацевтическая промышленность; химический комплекс.

Фармацевтическая промышленность в настоящее время признана одним из важнейших секторов экономики, который генерирует в себе высокотехнологические производства и является важным фактором социально-экономического развития и формирования экономики, основанной на знаниях.

Основы развития отрасли в нашей стране были заложены еще во времена существования Белорусской ССР, когда в 1929 г. в г. Минске был открыт Химфармзавод имени Первой пятилетки. Изначально производились товары первой необходимости в виде порошков, мазей, смесей. С течением времени линейка производимой продукции расширилась, а экспорт готовой продукции Минского производственного объединения «Минмедпрепараты» (современное название – РУП «БЕЛМЕДПРЕПАРАТЫ») производился в дружественные СССР страны Европы, Азии и на Кубу [1].

В истории независимой Республики Беларусь развитие отрасли можно охарактеризовать тремя этапами.

Первый этап начался в 1990-е гг., когда после распада СССР на территории нашей страны производилось всего 105 наименований лекарственных средств [2]. Для разрешения возникшей ситуации на государственном уровне были приняты соответствующие меры. В 1992 г. был организован Белорусский комитет по производству и реализации фармацевтической и микробиологической продукции, деятельность которого была направлена на реализацию государственной научно-технической поли-

тики в области создания лекарственных средств. В этот период был создан ряд крупных компаний – ЗАО «Фарматех» (1992), ОАО «Экзон» (1995), УП «МИНСКИНТЕРКАПС» (1995), ООО «НПК Биотест» (1997), иностранное УП «Мединтерпласт» (1998), СП ООО «Фармланд» (1998) и др. Усилия государства были направлены на создание и организацию процессов производства фармацевтической продукции, а не на дальнейший выпуск и реализацию.

Второй этап начался в 2000-х гг., когда на высшем государственном уровне была поставлена задача по увеличению поставок отечественных медицинских препаратов на внутренний рынок до 50% в стоимостном выражении. Расширение номенклатуры отечественных лекарственных средств на внутреннем рынке планировалось за счет производства аналоговых (дженериков) и оригинальных лекарственных средств. Для решения указанных задач с 2006 г. вопросы развития фармацевтической промышленности реализуются в рамках Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006–2010 годы. К 2010 г. фармацевтическая продукция нашей страны поставлялась в 21 страну мира, среди которых главными потребителями были страны СНГ [3]. В то же время доля импортных лекарственных препаратов на внутреннем рынке достигла 80 % в стоимостном выражении.

С 2011 г. начинается третий этап, который характеризуется утверждением целевых государственных программ, среди которых Государственная программа по развитию импортозамещающих производств фармацевтических субстанций, готовых лекарственных и диагностических средств в Республике Беларусь на 2010 – 2014 годы и на период до 2020 года, и ее дальнейшая преемница – Государственная программа развития фармацевтической промышленности Республики Беларусь на 2016-2020 годы [4]. Успешная реализация государственных программ по развитию фармацевтической промышленности в 2010-е гг. подтверждается положительной динамикой основных статистических показателей.

За период 2011–2019 гг. общее количество организаций, занятых в производстве фармацевтических продуктов и препаратов увеличилось с 63 до 100 единиц [5]. Сеть предприятий фармацевтической индустрии охватывает все без исключения области. Ведутся работы по открытию предприятий в регионах.

Открытие предприятий является одним из главных источников создания рабочих мест в стране. Так, в 2019 г. среднесписочная численность работников составила 10,4 тыс. чел. (по отношению к 2011 г. рост составил 18,2 %) [5]. В 2019 г. удельный вес среднесписочной численности ра-

ботников вида экономической деятельности в среднесписочной численности работников промышленности составил 1,2 %, что указывает на востребованность данной отрасли мирового хозяйства [5].

За период 2011–2019 гг. объем промышленного производства увеличился в 8 раз с 163,5 до 1 365,2 млн. руб. [5]. В региональной структуре производства фармацевтической продукции наибольший удельный вес в 2019 г. приходился на Минскую область (48,6 %) и г. Минск (33,4 %). Это связано с тем, что в столичном регионе сосредоточены крупнейшие фармацевтические компании республики, среди которых 72 предприятия, центр экспертиз и испытаний лекарственных препаратов, Министерство здравоохранения, 6 научно-исследовательских институтов и др.

Медианное положение по объему производства фармацевтической продукции заняли Витебский (8,3%), Гродненский (5,5%) и Могилёвский (2,4%) регионы. Наименьший объем производства в 2019 г. приходился на Брестскую (1,0 %) и Гомельскую (0,7%) области [5].

Согласно прогнозным показателям Государственной программы развития фармацевтической промышленности Республики Беларусь на 2016–2020 годы, в 2020 г. ожидается увеличение доли белорусских лекарств на внутреннем рынке страны до 55 % в стоимостном выражении (для сравнения в 2019 г. данный показатель составил 48,9 % [4]).

Таким образом, основными трендами развития фармацевтической отрасли в Беларуси являются:

3. Концентрация предприятий отрасли в Минске и Минской области и их специализация на производстве дженериков;

4. Активная финансовая поддержка отрасли со стороны государства, направленная на увеличение удельного веса белорусских лекарственных средств на отечественном рынке до уровня не менее 50%;

5. Преобладание частной формы собственности – 79 %, иностранная и государственная формы занимают 16 % и 5 % соответственно (при этом, на долю компаний, входящих в холдинг «Белфармпром», приходится более 90 % производства фармацевтических препаратов);

6. Необходимость импортозамещения фармацевтического сырья для производства лекарственных препаратов, так как удельный вес импорта в производстве отдельных видов продукции достигает 70-80 % [3].

В Беларуси в последние годы увеличено финансирование модернизации и строительства предприятий фармацевтической отрасли, начато привлечение частных инвестиций отечественных и зарубежных инвесторов, объем которых в 2019 г. составил 28,1 млн долл. США [6]. Беларусь в кратчайшие сроки смогла решить проблему импортозамещения лекарственных средств и создать мощности по производству дженериков. Открытым также остается вопрос расширения рынка сбыта белорусской

продукции: на текущем этапе география экспорта представлена 33 странами мира, среди которых главными потребителями фармацевтической продукции являются Россия, Казахстан и Азербайджан [6].

Для дальнейшего развития фармацевтической отрасли Республики Беларусь следует продолжить работу по таким направлениям, как:

- привлечение прямых иностранных инвестиций с целью дальнейшего повышения научно-технического и производственного потенциала;
- реконструкция и модернизация действующих производств;
- увеличение промышленных мощностей по производству фармацевтических субстанций;
- расширение номенклатуры производимых лекарств за счет освоения производства дженериков и создания оригинальных лекарственных средств.

Библиографические ссылки

1. *Агабеков, В. Е.* Химическая промышленность Белоруссии / В.Е. Агабеков. –Общество «Знание» БССР: Минск, 1983. – 20 с.
2. *Ржеусский, С. Э.* Фармацевтическое производство в Республике Беларусь в 2010–2019 годах // С. Э. Ржеусский, Е. В. Игнатьева // Вестник фармации. – 2020. – №2 (88) – С. 14–22.
3. *Шоломицкая, М. М.* Состояние, проблемы и перспективы развития фармацевтической промышленности в Республике Беларусь / М. М. Шоломицкая // Вестник БГЭУ. - 2010. -№ 2 - С. 53–59.
4. Аналитический доклад ГКНТ за 2019 год [Электронный ресурс] / Государственный комитет по науке и технологиям. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.gknt.gov.by>.
5. Промышленность Республики Беларусь 2020: стат. сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 52 с.
6. Фармацевтическая отрасль в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Национальное агентство инвестиций и приватизации Республики Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <https://www.investinbelarus.by>.

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Н. П. Грицук

Белорусский государственный университет, г. Минск;

gricuknatali94@gmail.ru;

науч. рук. – П. С. Лопух, д-р. геогр. наук, проф.

В статье рассмотрены особенности законодательства регулирующего отношения в области использования и охраны водных ресурсов в Республике Беларусь. Приводятся преимущества международного регулирования водными ресурсами. Выявлены проблемы правовой обеспеченности водного законодательства на современном этапе.

Ключевые слова: водные ресурсы; водообеспечение; водоотведение; загрязнение вод; сточные воды; охрана вод; рациональное водопользование водных ресурсов.

Водные ресурсы – важнейший компонент природно-ресурсного потенциала страны, который интенсивно используется населением и различными отраслями экономики. Хотя Беларусь обладает достаточными запасами возобновляемых ресурсов пресной воды, важными задачами сегодня и на будущее являются повышение качества питьевой воды, сокращение сбросов загрязняющих веществ, достижение или сохранение хорошего экологического статуса водных объектов, дальнейшее развитие водохозяйственных систем. Поэтому использование водных ресурсов должно строго регламентироваться, чтобы исключить возможность необратимых изменений в состоянии окружающей среды.

В Беларуси создана достаточная правовая база, включающая нормативно правовые документы всех рангов, обеспечивающая регулирование водных ресурсов, а также разработана стратегия улучшения механизмов рационального использования и охраны вод в перспективе. Однако в условиях постоянно меняющегося современного мира необходимо её совершенствовать.

На территории республики находятся пять крупных речных бассейнов: р. Западной Двины, р. Днепр, р. Припять, р. Западный Буг и р. Неман, которые являются трансграничными. В силу данного обстоятельства, а также в связи с возрастающей ролью глобального характера водных проблем необходимо учитывать подходы соседних стран Европейского Союза в сфере управления водными ресурсами [1].

Расширение сотрудничества между странами становится возможным преимущественно в рамках комплексного, многостороннего улучшения системы правовых международных отношений, которая должна предусматривать:

- развитие мер, способствующие повышению определенности и предсказуемости в отношениях между пограничными государствами и тем самым позволяющие предотвратить потенциальную напряженность и разногласия, что способствует поддержанию мира и безопасности на международном и региональном уровнях;

- реализацию на национальном и международном уровнях дальнейших шагов по исследованию последствий глобального изменения климата и воздействия данного процесса на водные ресурсы и потребляющие воду отрасли экономики;

- поощрение мер на национальном и международном уровнях в области снижения водопотребления, развитие систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения;

- ограничение и сокращение сброса в составе сточных вод биогенных элементов, стойких органических загрязнителей, особо опасных веществ и тяжелых металлов;

- разработку и внедрение инновационных технологических процессов с уменьшенным или нулевым сбросом загрязняющих веществ в составе сточных вод, новых методов очистки сточных вод и переработки осадка;

- развитие взаимодействия в области охраны трансграничных водотоков и международных озер, включая расширения сети мониторинга поверхностных и подземных вод, развитие систем обмена данными мониторинга;

- возможности для стран, расположенных как выше, так и ниже по течению, сокращать экономические издержки за счет осуществления совместных мер и мероприятий (например, мер по адаптации к изменению климата, совместному управлению деятельностью в случае наводнений или совместному управлению объектами водной инфраструктуры, такими как плотины) [2];

- улучшение координации проводимых мер по предотвращению, раннему оповещению, обмену информацией и оказанию взаимной помощи в случае промышленных аварий, неблагоприятного воздействия вод.

Анализ нормативной правовой базы, существующей системы управления водными ресурсами позволил обобщить основные проблемы и нерешенные задачи:

- отсутствие подзаконных актов по защите водных объектов от истощения;

- недостаточное развитие рекреационного использования водоемов и водотоков;

- учет изменения климата на территории Беларуси при проектировании НПА в перспективе с целью недопущения проблем

водопользования в сельском хозяйстве во время засушливых периодов, освоения зон повышенного риска затопления (например, пойм рек), в том числе строительства домов, дачных кооперативов, промышленного освоения и размещения свалок;

- решение проблем водопользования на законодательном уровне в ЖКХ, связанные с старением и износом большинства систем, перебоями в подаче воды населению, ухудшением качества воды, значительным утечками, подтоплением территории, перегрузкой водопроводных и канализационных и очистных сооружений;

- усовершенствовать рынок разрешений на сброс загрязняющих веществ, стимулирующих потенциальных загрязнителей уменьшать сброс загрязняющих веществ, дающих им возможность продать свои избыточные квоты [1];

- совершенствовать правовые основы бассейнового управления водными ресурсами Республики Беларусь.

Беларусь целенаправленно принимает меры по рациональному использованию водных ресурсов. Однако больших тенденций по снижению сброса сточных вод в поверхностные водные объекты не прослеживается (рисунок).



Рис. Динамика сброса сточных вод в поверхностные воды в Республике Беларусь (2013-2019 гг.) (сост. авт. по [3])

Из этого следует, что современное водопользование в Республике Беларусь не в полной мере соответствует концепции рационального природопользования, предусмотренная программой устойчивого развития страны до 2030 года.

Возникающие пробелы в водном законодательстве также связаны с несовпадением границ территориально-административных единиц управления и гидрографических границ бассейнов. Решается эта проблема на основе внедрения комплексного бассейнового управления водными ресурсами, с наличием работающего механизма межведомственной координации и четкой согласованности действий на всех уровнях иерархии управ-

ления, в том числе посредством трансграничного сотрудничества в соответствующих случаях. Этот процесс способствует скоординированному освоению водных и связанных с ними природных ресурсов и управлению ими в целях извлечения на равноправной основе максимальной пользы с точки зрения экономического и социального благосостояния, без ущерба для устойчивости важнейших экосистем.

Учитывая высокие оценки вероятности и масштаба последствий глобальных рисков, связанных с усугубляющимся дефицитом качественных водных ресурсов в мире, а также высокие показатели водообеспеченности республики, следует детально проработать пути и механизмы реализации данного конкурентного преимущества Беларуси [5].

Таким образом, законодательство республики нуждается в установлении новых более совершенных мер повышения эффективности и рационального использования водных ресурсов, которые будут касаться: во-первых, разработки соответствующих нормативных документов; во-вторых, налаживания новых экономических механизмов с привлечением инвестиций, в-третьих, повышения контроля за неотвратимостью наказания за каждое нарушение водного законодательства, даже малозначительного.

Библиографические ссылки

1. *Деревяго, И.П.* Экономические инструменты управления водными ресурсами и объектами и водохозяйственными системами в Республике Беларусь: тематические материалы проекта «Водная инициатива ЕС плюс для Восточного партнерства» / И.П. Деревяго, С.А. Дубенок. – Минск: БГТУ, 2019. – 304 с.
2. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер от 17.03.1992 (вступила в силу для Республики Беларусь 27 апреля 2004 года) // Айлекс бай [Электрон. ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
3. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество (за 2000–2018 гг.). – Минск: Минприроды, Минздрав, 2001–2019 гг.
4. Водный кодекс Республики Беларусь от 30.04.2014 N 149-З (ред. от 18.06.2019) / Айлекс бай [Электрон. ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
5. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – 2021. Режим доступа: <http://www.economy.gov.by>.

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОЗИМОГО РАПСА И ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ

Ю. С. Давидович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

seg98001@gmail.com;

науч. рук. – Ф. Е. Шалькевич, канд. биол. наук, доц.

Спектрометрические исследования различных природных объектов – актуальное и важное направление современного дистанционного зондирования Земли, потому что именно спектральная отражательная способность является физической основой формирования и распознавания изображения на космических снимках. Объектом исследования послужили сельскохозяйственные культуры различных стадий вегетации (озимый ячмень и рапс). Цель работы заключалась в изучении спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур в зависимости от фенологической фазы развития и степени увлажнения почв.

Ключевые слова: спектрометрическая съемка; изучение растительности; дистанционные методы исследований; спектрометр; спектральная отражательная способность; озимый ячмень; озимый рапс.

Методы дистанционного зондирования основаны на получении информации о земной поверхности путем регистрации приходящего от нее электромагнитного излучения, отраженного или собственного, в различных частях спектрального диапазона. Возможность распознавания различных объектов и определения их характеристик дистанционными методами обусловлена тем, что поглощение, рассеяние, отражение и излучение электромагнитной энергии в различных зонах спектра специфичны для каждого участка земной поверхности. Анализ спектральных характеристик объектов, структурных и текстурных особенностей изображений позволяет получать информацию для их последующего дешифрирования и интерпретации [1, с. 81].

Одним из сложнейших природных объектов для дешифрирования является почва, особенно если она скрыта культурной растительностью. В данном случае почва будет дешифрироваться через спектральную отражательную способность растительности, на которую кроме технических факторов также влияет содержание пигментов (хлорофилл, каротиноиды, фикобилины и антоцианы), фенологическая фаза развития растений, подверженность болезням, и др. Однако для изучения почв и определения оптимальных сроков дистанционных съемок наибольший интерес пред-

ставляет взаимосвязь спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур со свойствами почв и, в частности, со степенью их увлажненности.

Изучению спектральной отражательной способности растительности посвящено ряд научных работ отечественных и зарубежных специалистов. В современных спектрометрических исследованиях растительности можно выделить ряд направлений: технические и методические аспекты спектрометрических измерений растительности; изменение спектральной отражательной способности растительности в зависимости от ее фенологической фазы и наземной массы; автоматизация процесса обнаружения растительности на космических снимках [2-4].

В исследовании использовался метод ключевых участков. Под ключевым участком следует понимать ограниченный по размерам участок территории, отражающий основное разнообразие и закономерности формирования почвенно-растительного покрова в пределах определенного ландшафта или района исследования. Данный метод широко используется как при крупномасштабном, так и среднемасштабном картографировании почвенно-растительного покрова [5, с. 32].

Ключевой участок расположен северо-восточнее поселка «Щомыслица», между кольцевой и железной дорогой Минск–Брест. Рельеф холмисто-грядовый, характеризуется преобладанием высотных отметок от 250 до 300 м. Участок представляет собой пашню, которая используется под различные сельскохозяйственные культуры.

Исследования на данном участке проводились в осенний период в условиях ясной безоблачной погоды.

Почвы ключевого участка сформированы на однородных почвообразующих породах – лессовидных суглинках. Основным типом почв участка являются дерново-подзолистые. На территории ключевого участка можно выделить 4 почвенные разновидности: дерново-подзолистые автоморфные суглинистые, дерново-подзолистые временно-избыточно увлажненные суглинистые, дерново-подзолистые глееватые суглинистые и дерново-подзолистые глеевые суглинистые почвы. Преобладающей почвенной разновидностью являются дерново-подзолистые автоморфные почвы (70,39 % участка). В полевых условиях для каждой почвенной разновидности были отобраны образцы для определения влажности (термостатно-весовым методом). Лабораторные исследования показали, что со степенью увлажнения почв тесно коррелирует и их влажность. С увеличением степени увлажнения увеличивается и содержание влаги в почвах, с 13,3 % у дерново-подзолистых автоморфных до 22,4 % у дерново-подзолистых глеевых.

Изучение спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур проводилось в полевых условиях при помощи спектрометров ФСР-02 (спектральный диапазон 400-900 нм, разрешение 4.3 нм). Съемка производилась в надир. В качестве эталонной поверхности, для получения коэффициентов спектральной яркости, использовалось молочное стекло с маркой МС-20.

Кроме того, на данную территорию использовались мультиспектральные космические снимки Sentinel 2 с пространственным разрешением 10 м. Была произведена их радиометрическая и атмосферная коррекция.

Значения коэффициента отражения ячменя в фенологическую фазу формирования 2-3 листьев тесно коррелирует со степенью увлажнения почв. Из коэффициентов спектральной яркости (табл. 1) видно, что ячмень, произрастающий на автоморфных почвах, имеет спектральную отражательную способность выше, чем ячмень, произрастающий на временно-избыточно увлажненных почвах.

Таблица 1

Коэффициенты спектральной яркости озимого ячменя в фенологическую фазу формирования 2-3 листьев на почвах различной степени увлажнения, в %

Почвы	Спектральный диапазон, мкм							NDVI
	0.40-0.45	0.45-0.48	0.48-0.50	0.50-0.56	0.56-0.59	0.59-0.62	0.62-0.75	
Автоморфные	7.5	9.4	10.4	19.8	23.7	20.5	33.7	0.35
Временно-избыточно увлажненные	4.3	4.8	5.2	7.7	9.0	8.7	11.8	0.30

На глееватых почвах съемка ячменя не проводилась из-за его малого проективного покрытия. Так же съемка не проводилась на глеевых почвах из-за сильной вымочки почвогрунтов. Наибольшие различия в коэффициентах спектральной яркости ячменя данной вегетационной фазы наблюдаются в диапазонах длин волн от 522 до 596 нм (зеленая и желтая цветовая зона) и от 693 до 750 нм (красная зона). Для автоморфных почв соответствует вегетационный индекс 0.3, а временно-избыточно увлажненных – 0.35.

Измерение озимого рапса проводилось недалеко от ключевого участка «Щомыслица» в пределах пашни, прилегающей к ул. Курчатова. Исследуемый участок представлен аналогичными почвенными разновидностями. Во время проведения спектрометрической съемки рапс был в фенологической фазе формирования третьего листа. Из коэффициентов спектральной яркости (табл. 2) видно, что наибольшие различия в них у рапса данной фенологической фазы наблюдаются в диапазонах длин волн от 522 до 571 нм (зеленая зона) и от 693 до 720 нм (красная зона).

Таблица 2

Коэффициенты спектральной яркости озимого рапса в фенологическую фазу формирования третьего листа на почвах различной степени увлажнения, в %

Почвы	Спектральный диапазон, мкм							NDVI
	0.40–0.45	0.45–0.48	0.48–0.50	0.50–0.56	0.56–0.59	0.59–0.62	0.62–0.72	
Автоморфные	10.1	12.6	13.7	26.0	30.4	24.3	33.9	0.4
Временно-избыточно увлажненные	4.0	4.4	4.4	9.8	10.5	7.4	13.0	0.35
Глееватые	2.6	2.8	2.8	5.3	5.7	4.6	6.1	0.3

Для автоморфных почв соответствует вегетационный индекс 0.4, временно-избыточно увлажненных – 0.35, а глееватых – 0.3.

Собственные полевые спектрометрические исследования сельскохозяйственной растительности на примере озимого ячменя и рапса показали зависимость спектральной отражательной способности его от влажности подстилаемых почв и значения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI. Результаты исследований позволяют сделать вывод, что коэффициенты спектральной яркости и вегетационные индексы позволяют судить не только о состоянии сельскохозяйственных культур в различные стадии вегетации, но и о почвах, на которых они произрастают.

Библиографические ссылки

1. Шалькевич Ф. Е. Методы аэрокосмических исследований: курс лекций. Минск: Белорусский государственный университет, 2005.
2. Беляев Б. И., Катковский Л. В. Оптическое дистанционное зондирование. Минск: Белорусский государственный университет, 2006.
3. Выгодская Н. Н., Горшкова И.И. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.
4. Терехин Э. А. Оценка пространственно-временных изменений в зеленой фитомассе аграрной растительности с использованием спектрально-отражательных признаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 1. С. 138–148.
5. Шалькевич Ф. Е., Жмойдяк Р. А., Топаз А. А. Составление тематических карт на основе дешифрирования аэрокосмических снимков. Минск: Белорусский государственный университет, 2000.

ПЕРСПЕКТИВА СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ГЕОПОРТАЛОВ УЧРЕЖДЕНИЯМИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Е. А. Карпенко

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
karpenka.elen@gmail.com;
науч. рук. – В. М. Храмов*

В статье рассмотрено понятие учебного геопортала, перспективы и необходимость их создания для сопровождения образовательного процесса на примере факультета географии и геоинформатики. Дана характеристика этапов по составлению интерактивных карт. В результате создана интерактивная карта, отображающая географические объекты номенклатурного списка (минимума).

Ключевые слова: геопортальные технологии; учебный геопортал; образовательный процесс; интерактивная карта; пространственные данные.

Во все времена сфера образования являлась обширным источником информации и средством получения доступа к данным различного типа. Образовательный процесс сопровождается средствами, характерными и свойственными для определенного временного периода. На сегодняшний день развитие интернет-технологий привело к внедрению в учреждения высшего образования онлайн-систем, обеспечивающих двустороннюю связь между преподавателями и учащимися.

В качестве примера можно привести Moodle – систему управления курсами. Такие платформы позволяют хранить лекционные материалы, отслеживать успеваемость учащихся. Недостатком данного рода систем является отсутствие визуализации пространственных географических данных, которые особенно важны для естественнонаучных дисциплин. Данную проблему позволяют решить геопорталы, задачей которых является объединение, хранение пространственных данных, а также обеспечение к ним доступа.

Геопортал – веб-сайт или его эквивалент, перечень функций которого, реализованных в виде геосервисов, включает в себя поиск наборов данных, их визуализацию, загрузку и трансформирование, а также вызов других сервисов [1].

Внедрение технологий и принципов работы геопорталов в образовательный процесс позволит упорядочить и объединить уже накопленные знания и средства в этой области, расширить возможности их использования. В результате интеграции двух технологий (учебного портала и геопортала) возникает новое понятие – учебный геопортал.

Учебный геопортал – это веб-портал, хранящий всю необходимую для обучения географическую и иную информацию в виде геоизображений,

баз данных и других пространственно-координированными данных, а также обеспечивающий посредством веб-сервисов доступ к данной информации в ходе образовательного процесса. Главной целью учебного геопортала является создание единого центра для получения и объединения данных на одном ресурсе, обеспечение взаимодействия между пользователями.

Детальная структура учебного геопортала может отличаться в зависимости от учебного заведения. На данном этапе можно предложить общую структуру разделов учебного геопортала (рис. 1).

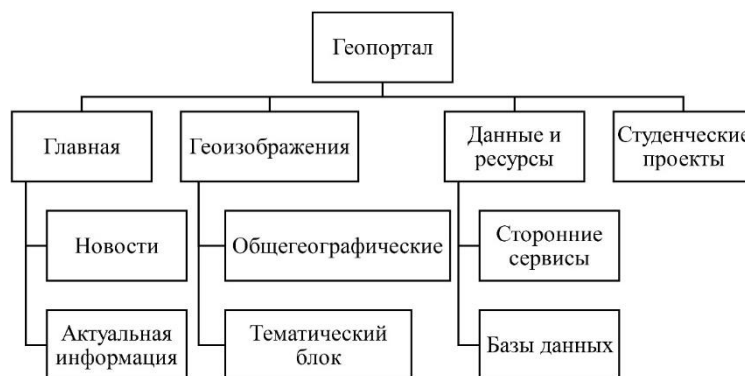


Рис. 1. Общая структура разделов учебного геопортала

Функциональные возможности геопортала, в свою очередь, зависят от программных средств и сервисов, используемых при создании как самого геопортала, так и его наполнения.

Несмотря на важность и актуальность внедрения геопортальных технологий, до сих пор остается множество вопросов о методике и процессе их создания. Учебные геопорталы для учреждений высшего образования могут быть созданы с нуля как самостоятельные веб-платформы либо интегрированы в уже существующие учебные порталы.

Интеграция с уже имеющимися образовательными структурами может производиться разными путями: 1) добавление ссылки (на уже созданном учебном портале размещается ссылка на сторонний ресурс, в роли которого выступает геопортал); 2) внедрение геопортальных функций в созданный учебный портал (этот вариант очень трудоемкий и затратный).

В рамках исследования рассмотрены методы проектирования учебного геопортала без интеграции его в уже существующие структуры. Для примера была создана интерактивная карта Антарктиды, предназначенная для изучения на факультете географии и геоинформатики БГУ минимума географических названий по дисциплине «Физическая география материков». Цель интерактивной карты – визуализация текстовой информации для более быстрого освоения и глубокого запоминания материала, предусмотренного учебным планом. Созданный интерактивный продукт является

программно-независимым (для его просмотра и использования, пользователям не нужно иметь специальные программы, достаточно браузера с подключением к сети Интернет).

Формирование познавательного интереса обучающихся достигается применением интерактивных технологий [2]. Интерактивность (от англ. interaction – «взаимодействие») – понятие, которое раскрывает характер и степень взаимодействия между объектами или субъектами [3].

Создание карты включало 5 этапов (*таблица*) и осуществлялось с помощью программного продукта Adobe Illustrator CC (векторный графический редактор) и IntelliJ IDEA (интегрированная среда для разработки программного обеспечения).

Таблица

Основные этапы создания интерактивной карты и их характеристика

Этап	Характеристика этапа
1. Подготовка основы карты	<ul style="list-style-type: none"> • создание неподвижной основы в формате PNG; • создание отдельного слоя с географическими объектами из номенклатурного списка, сохранение его в формате SVG.
2. Написание программного кода	<ul style="list-style-type: none"> • конструирование HTML-файла; • подключение CSS-модуля; • создание файла JavaScript.
3. Тестирование	<ul style="list-style-type: none"> • проверка работы карты в браузерах; • выявление ошибок и неисправностей;
4. Повторное тестирование	<ul style="list-style-type: none"> • исправление неисправностей; • вторичная проверка карты в браузерах.
5. Публикация интерактивной карты	<ul style="list-style-type: none"> • загрузка карты на сервер; • выбор способа публикации; • проверка отображения карты после публикации.

Результатом являются интерактивные карты, связанные между собой с помощью кнопки на веб-странице. Создание двух вариантов карты необходимо для предоставления альтернативных способов изучения географической номенклатуры в зависимости от особенностей восприятия самого учащегося.

Первый вариант карты (рис. 2) содержит маркированный список, при наведении на который, на карте цветом выделяются соответствующие области. Второй вариант (рис. 3) является контрольным и служит для проверки уже полученных знаний. Кроме этого, пользователь может использовать статистическую физико-географическую карту (при нажатии кнопки «Исходная карта»).

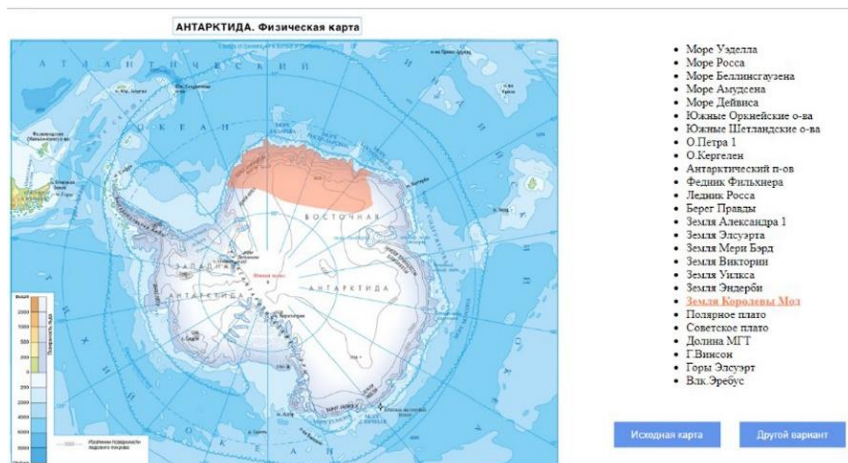


Рис. 2. Интерактивная карта с маркированным списком

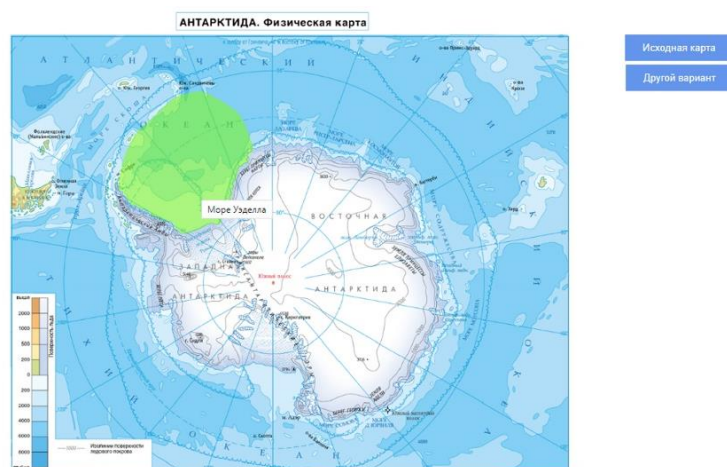


Рис.3. Интерактивная карта без маркированного списка

В заключение стоит отметить, что учебный геопортал является уникальным продуктом, способным расширить возможности обычных образовательных платформ и повысить качество образования в целом за счет использования современных технологий.

Кроме того, являясь локальной системой хранения пространственных данных, учебные геопорталы также могут выступать в роли элементов для построения инфраструктуры пространственных данных национального уровня.

Библиографические ссылки

1. *Быков, А. В.* Web-картографирование: учеб. пособие / А. В. Быков, С. В. Пьянков; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – 110 с.
2. *Макаров В. А., Салмин А. А.* Интерактивные системы управления / В. А. Макаров, А. А. Салмин // Экономика и социум. – 2016. – № 6(25). – С 405-408.
3. *Wiberg Mikael.* Interaction per se: understanding «the ambience of interaction» as manifested and situated in everyday & ubiquitous IT-use / Mikael Wiberg // International Journal of Ambient Computing and Intelligence. – 2010. – №2 (2) – P. 1–26.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПЛОЩАДНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В. С. Кизеева

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
tatyana.novikova.85@mail.ru;
науч. рук. – А. Л. Киндеев*

В работе приводится один из возможных вариантов улучшения методики выделения зон потенциального плодородия почвы на основании ее агрохимических свойств. Доказывается необходимость использования площадной интерполяции, как единственного метода геостатистического анализа, учитывающего площадь входных объектов. По полученной карте потенциального плодородия почвы были определены причины и следствия его пространственного распределения.

Ключевые слова: ГИС; геостатистика; варьирование; площадная интерполяция; производительная способность почвы.

Одной из основных целей устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 года является модернизация аграрно-промышленного комплекса (АПК) в сфере сельского хозяйства, сохранения природно-ресурсного потенциала, поддержания экологической безопасности окружающей среды и т.д. [1].

Для достижения этих целей необходимо постоянное обеспечение АПК новыми эффективными адаптированными ресурсосберегающими технологиями и методиками, направленными на охрану агроландшафтов от деградаций, и повышение продуктивности агроценозов [2]. Одним из возможных путей оптимизации АПК Республики Беларусь является учёт пространственной неоднородности почвенного покрова и его агрохимических характеристик. Исходя из этого появляется необходимость разработки методики учёта этих показателей при проведении землеустроительных работ и кадастровой оценки земель.

В связи с этим, целью настоящего исследования является совершенствование методики дифференциации сельскохозяйственных земель по агрохимическим свойствам.

В основе выделения однородных по своим агрохимическим характеристикам территорий лежат методы геостатистического анализа. Для реализации подобных методик в ArcGIS ArcMap модулем Geostatistical Analyst предусмотрен инструмент «Площадной интерполяции».

При определении степени отклонения исследуемых данных от нормального Гауссова распределения были получены показатели описательной статистики, представленные в таблице.

Статистическая характеристика почвенных свойств

Показатели	pH	Гумус	K ₂ O	P ₂ O ₅
Среднее	5,88	2,41	228	195
Медиана	5,92	2,16	200	172
Мода	6,50	3,00	300	150
Стандартное отклонение	0,55	0,98	119	95,3
Коэф. вариации, %	9,39	40,5	52,1	48,8
Асимметричность	-0,51	2,46	1,84	3,45
Эксцесс	0,41	7,25	9,20	25,6
Ошибка асимметрии	0,07	0,08	0,07	0,08
Ошибка эксцесса	0,28	0,30	0,28	0,30

Исходя из полученных статистических данных была определена необходимость логарифмирования значений гумуса и фосфора для приведения их к нормальному распределению. Также были убраны артефакты из ряда данных по калию. По результатам работы площадной интерполяции агрохимические свойства были агрегированы в контуры почвенного покрова (рис. 1).

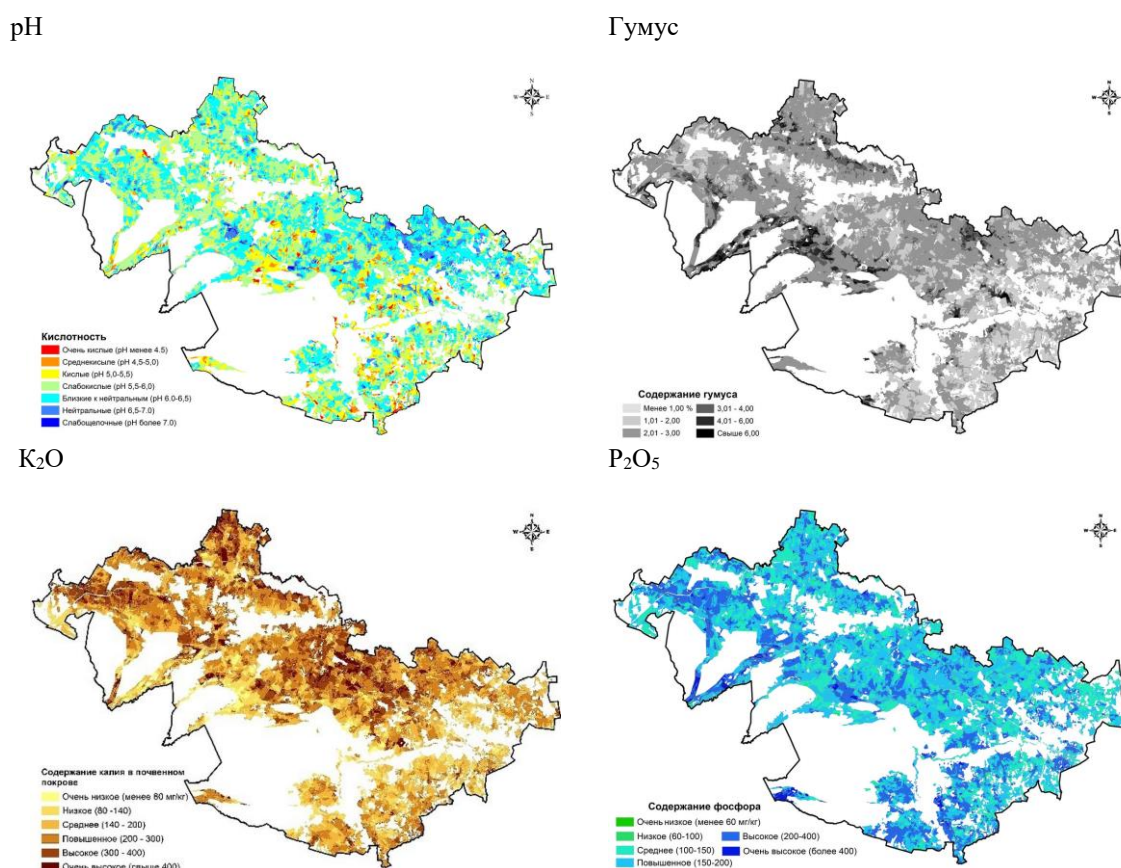


Рис. 1. Картограммы агрохимических свойств почвенного покрова Воложинского района

Анализируя картограмму кислотности почв, можно заметить, что значения рН от 6,5 и выше наиболее характерно в центральной и восточной частях района. Слабокислые и близкие к нейтральным занимают наибольшую долю от всех типов почв района. Странным является наличие повышенного количества кислых почв в центральных и юго-восточных частях, тяготеющим к районному центру, тогда как обычно они тяготеют к периферии.

Очень высокое содержание гумуса в почвенном покрове района (более 3 %) приурочено к северной, западной и центральной частям Воложинского района. Низкие и средние показатели содержания гумуса (до 2 %) также приурочены к дерново-подзолистым и дерново-подзолистым заболоченным типам почв.

Практически вся территория имеет оптимальные значения содержания фосфора – 250-300 мг/кг для супесчаных и 300-350 мг/кг для суглинистых почв. Высокое и очень высокое (от 300 мг/кг почвы) содержание K_2O в почвенном покрове ярко выражено в северной и центральной частях района. Средние значения K_2O и ниже наблюдаются в центральной и юго-восточной частях территории.

В целом, среднеквадратические ошибки интерполяции позволяют говорить, что все картограммы в достаточной мере отражают реальную картину распределения агрохимических свойств и могут служить основой для выделения зон потенциального плодородия почв (рис. 2).

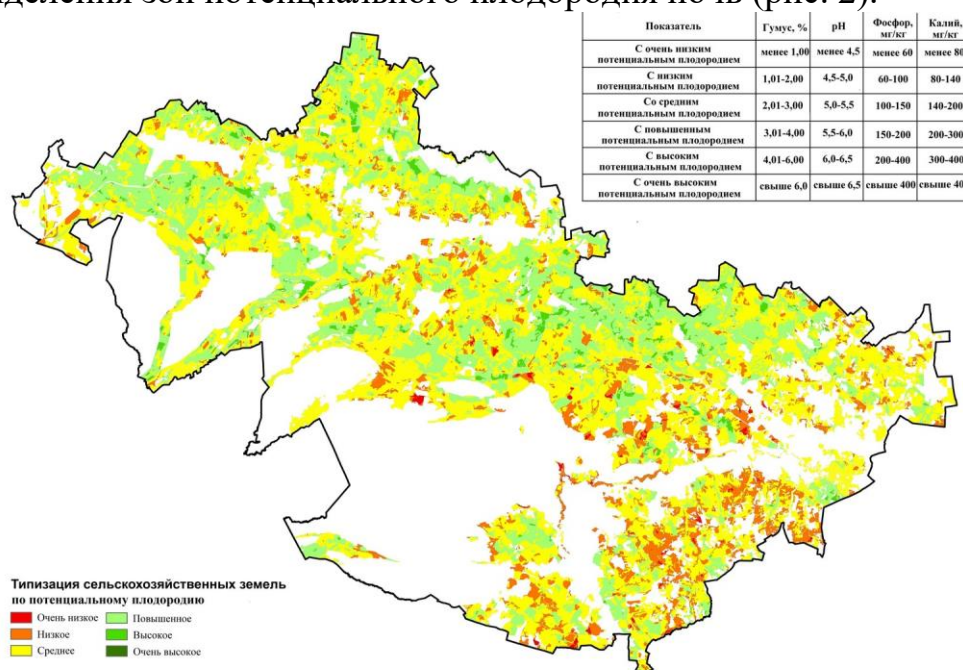


Рис. 2. Потенциальное плодородие почвенного покрова сельскохозяйственных земель Воложинского района

Сопоставляя полученную карту с гранулометрическим составом почв, можно выделить ряд закономерностей, которые, в свою очередь, дают основание говорить об определённой степени достоверности полученных результатов. Зоны с высокой производительной способностью тяготеют к равнинным территориям и к тяжелым почвам, в свою очередь, низкая продуктивность характерна для территорий с лёгким гранулометрическим составом и к территориям с расчлѐнным рельефом, где качество земель ухудшается из-за плоскостного смыва.

Обобщив вышесказанное, можно констатировать, что при использовании площадной интерполяции, методика выделения зон потенциального плодородия требует использования площадной интерполяции. Именно этот метод дает возможность учитывать не только значения показателя, но и площадь элементарных участков. Вместе с тем, среднеквадратические ошибки интерполяции дают исчерпывающую картину качества проведѐнной интерполяции исходного набора картограмм. В целом, с помощью геостатистических методов можно достаточно корректно интерполировать показатели агрохимических свойств на довольно большие территории и выявлять территориальные особенности.

Представляется важным проведение дальнейших исследований по корректировке полученных результатов с проводимой в Республике Беларусь кадастровой оценкой сельскохозяйственных земель, а также определение оптимального использования типов земель в границах землепользователей района.

Библиографические ссылки

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г / Мин. эконом. Респ. Беларусь; Гос. научное уч. «Научно-исследовательский экономический институт» (ГНУ НИЭИ) – Минск, 2017 – 143 с.
2. *Клебанович, Н.В.* Разработать геоинформационную базу пространственных информационно-аналитических данных, отражающих устойчивость различных типов земель агроландшафтов к техногенному воздействию: отчет о НИР (заключ.) / Н.В. Клебанович. – Минск, Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019.

ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Ю. Мазанович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

geo.kulinichAY@yandex.by;

науч. рук. – В.А. Бакарасов, канд. геогр. наук, доц.

Объектом исследования являются водные ресурсы Брестской области. Цель работы – провести геоэкологическую оценку водных ресурсов исследуемого региона. В исследовании использовались следующие методы: сравнительно-географический, картографический, математические, ранжирования и др. Геоэкологическая оценка водных ресурсов Брестской области состояла из двух блоков и представляла собой анализ количественных и качественных показателей, в результате чего был выявлен ряд особенностей геоэкологического состояния водных ресурсов Брестской области.

Ключевые слова: водные ресурсы; Брестская область; геоэкологическая оценка; источники антропогенного воздействия; превышения норматива качества.

В настоящее время в условиях интенсивного развития промышленного и сельскохозяйственного производства, внедрения инновационных технологий, а также использования водных ресурсов населением в различных целях не обеспечивается полноценное сохранение окружающей среды. Для водных ресурсов Брестской области эта проблема также актуальна, как и для других водных объектов Республики Беларусь, что говорит о необходимости геоэкологической оценки водных ресурсов.

Геоэкологическая оценка состояния водных ресурсов Брестской области состояла из двух частей – оценка по количественным и качественным показателям. На основе рекомендаций Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций, работ белорусских исследователей [2], а также доступности и репрезентативности данных по различным параметрам, характеризующим состояние водных ресурсов в пределах региона, для количественной оценки нами были отобраны следующие количественные показатели за 2019 год: объем добытых подземных вод и изъятых поверхностных вод, млн. м³/год, объем бытового водопотребления в расчете на душу населения, л/сут/чел. (*показатели давления*), отношение добытых подземных вод и изъятых поверхностных вод к суммарному годовому стоку, м³/год (*показатель состояния*), объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, млн. м³/год (*показатель воздействия*), объем потери воды при транспортировке млн. м³/год, мощность очистных сооружений, предусматривающих сброс сточных вод в поверхностные водные объекты, млн.м³ (*показатель реагирования*) [1, 2]. В качестве операционных единиц для проведения геоэкологической

оценки по количественным показателям были взяты административные районы Брестской области (их всего 16).

Для того, чтобы провести геоэкологическую оценку, после сбора и обработки данных каждому показателю присваивался свой ранг. Если по некоторым показателям использовалось несколько значений (например, по показателю «давление» использовалось два значения: объем добытых подземных вод и изъятых поверхностных вод, объем бытового водопотребления в расчете на душу населения), то выделялись также промежуточные ранги, которые затем суммировались и далее показателю присваивался ранг. После подсчета ранга по каждому из четырех показателей, был составлен итоговый ранг по четырём анализируемым показателям. При этом чем больше ранг, тем больше в данном районе воздействие на водные ресурсы. После проставления итогового ранга районы были разделены на группы, в результате чего был выделен низкий, средний, повышенный и высокий уровни воздействия на водные ресурсы Брестской области и составлена карта-схема.

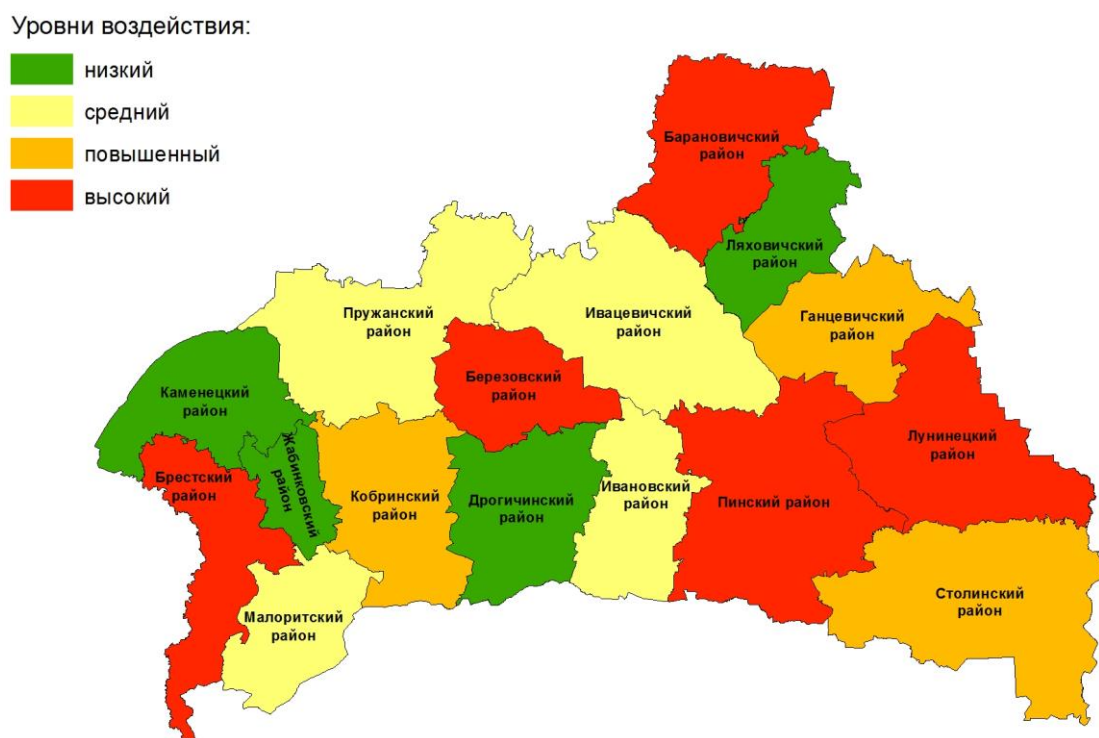


Рис. Уровни воздействия на водные ресурсы Брестской области, 2019 г.

По анализу получившихся результатов ранжирования следует, что показателю «давление», «состояние» и «воздействие» наибольшие значения характерны для Барановичского, Брестского, Березовского, Лунинецкого и Пинского районов. Это связано с деятельностью КУМПП ЖКХ «Барановичское ЖКХ», Барановичское КУПП «Водоканал» (*Барановичский район*), ГП «Брестводоканал», ОАО «Брестский электроламповый завод»,

филиала «Брестские тепловые сети» РУП «Брестэнерго», ОАО «Комаровка», КУМПП ЖКХ «Брестское ЖКХ» (*Брестский район*), филиала «Березовская ГРЭС» РУП «Брестэнерго» Березовского района, унитарное предприятие «САРИЯ», ОАО «Опытный рыбхоз «Селец», КУМПП ЖКХ «Березовское ЖКХ» (*Березовский район*), РУПП «Гранит», филиала опытного рыбхоза «Лахва» ОАО «Пинскводстрой», КУМПП ЖКХ «Лунинецкое ЖКХ» (*Лунинецкий район*), КУМПП ЖКХ «Пинское ЖКХ», ОАО «Рыбхоз Полесье», ОАО «Пинский винодельческий завод», КПУП «Пинскводоканал» (*Пинский район*), а также в этих районах зафиксирован высокий объём бытового водопотребления в расчете на душу населения. По показателю «реагирование» наибольший ранг характерен для Столинского, Ганцевичского и Лунинецкого районов. В основном это связано с невысокой мощностью очистных сооружений в этих районах [3]. Таким образом, высокий уровень напряженности геоэкологического состояния водных ресурсов характерен для 5 районов Брестской области: Барановичского (итоговый ранг (ИР) – 12), Березовского (ИР – 13), Брестского (ИР – 14), Лунинецкого (ИР – 15) и Пинского (ИР – 14). На это влияет высокая концентрация предприятий, высокая численность населения и достаточно большая площадь районов, для Лунинецкого района – низкое значение показателя «мощность очистных сооружений».

В результате проведенной оценки по количественным показателям выявлено следующее: около 25% всех анализируемых районов имеют низкий уровень воздействия (их ранг в системе ранжирования: 1-4), 25% – средний (ранг 5-8), 18,75% – повышенный (ранг 9-11), 31,25% – высокий (ранг 12-15).

Для проведения качественной оценки использовались данные 2020 года, а оценка проводилась на основе анализа показателей бассейнов рек в пределах области, что объясняется невозможностью приведения качественных показателей вод к административно территориальному делению, в отличие от количественной. Анализировались превышения ПДК бассейнов рек в пределах Брестской области по таким показателям, как: биогенные вещества, фосфор общий, БПК₅, ХПК_{Cr}, тяжелые металлы.

Результат анализа показал для бассейна реки *Западный Буг* характерно превышение норматива качества воды по содержанию органических веществ (по ХПК_{Cr}) в 95,5% проб, превышения норматива качества воды по фосфат-иону. Максимальное количество металлов зафиксировано: по железу общему в воде р. Нарев, по меди – в воде р. Копаювка, по марганцу – в воде р. Копаювка, по цинку – в воде р. Западный Буг [3].

В бассейне реки *Неман* концентрации легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) для поверхностных водных объектов, являющихся средой обитания рыб отряда лососеобразных, превышающие норматив

качества воды, отмечены в воде р. Щара (до 7 мгО₂/дм³, 2,3 ПДК). Наблюдается также превышения норматива качества воды по содержанию трудноокисляемых органических веществ (по ХПК_{Cr}) фиксировались в воде рек, являющихся средой обитания рыб отряда лососеобразных, – р. Щара (до 51 мгО₂/дм³, 2,04 ПДК) в июне [3].

В бассейне реки Припять зафиксировано наибольшее количество отклонений: превышение норматива качества воды по аммоний-иону, фосфат-иону, фосфору общему и нитрит-иону, превышение норматива качества воды по взвешенным веществам, по легкоокисляемым органическим веществам - р. Ясельда выше и ниже г. Береза; повышенное содержание трудноокисляемых органических веществ (по ХПК_{Cr}), являющихся средой обитания рыб отряда осетрообразных – р. Горынь, р. Припять, р. Ясельда ниже г. Береза [3].

Полученные результаты количественной и качественной оценки говорят о необходимости совершенствования проведения мероприятий, таких как внедрение большего числа систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения; реконструкция изношенных очистных сооружений; учет сброса загрязняющих веществ через системы дождевой канализации; обеспечение предприятий районов мощными очистными сооружениями; развитие наблюдательной сети за состоянием водных объектов и водохозяйственных систем и др. Данного рода мероприятия совместно с реализуемой в стране Водной стратегией позволят, если не минимизировать негативное воздействие, оказываемое хозяйственной деятельностью и населением на водные ресурсы Брестской области, а хотя бы не допустить увеличения нагрузки на них.

Библиографические ссылки

1. *Европейская экономическая ассоциация*. Экологические показатели и основанные на них оценочные доклады. Восточная Европа, Кавказ и Центральная Азия // ЕЭК ООН. – Нью-Йорк, Женева, 2007. – 110 с.
2. *Кадацкая О.В.* Экологические показатели оценки водных ресурсов Беларуси / Актуальные проблемы геоэкологии и ландшафтоведения: сб. науч. ст. Вып. 1 // редкол.: А. Н. Витченко (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2013. – С. 53-56.
3. *Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды*. Фондовые материалы. – Брест, 2019-2020.

СОВРЕМЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТУРИСТСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

А. В. Макаренко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

anntomakarwork@mail.ru;

науч. рук. – И. К. Трифонова

В статье исследовано состояние туристской сферы в Гомельской области, рассмотрено одно из перспективных направлений туризма (лечебно-оздоровительный). Рассмотрена структура туристского обслуживания, включая организации, осуществляющие туристскую деятельность в регионе, и система туристских маршрутов.

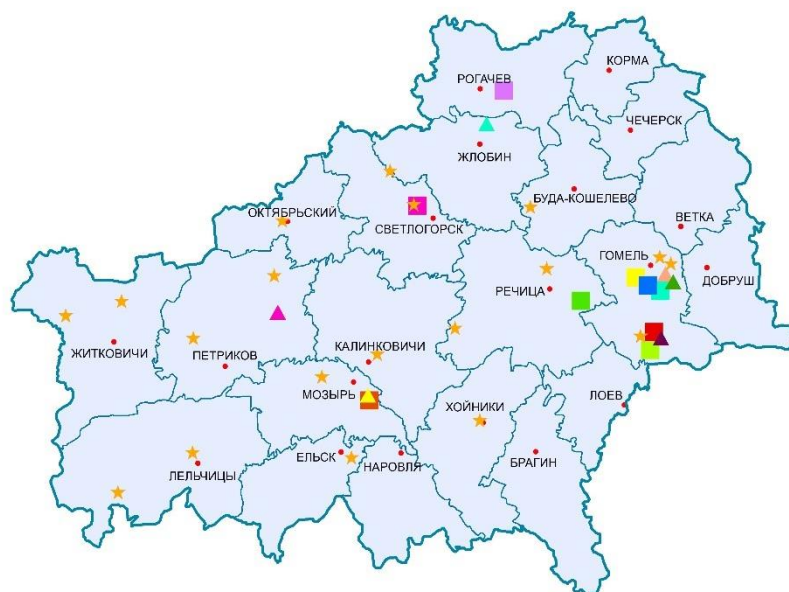
Ключевые слова: внутренний туризм; лечебно-оздоровительный туризм; туристские потоки; экскурсионный туризм.

Современное состояние туризма в Гомельской области определяется рядом особенностей, определяющих положение региона в экономике страны. Одна из черт сферы туризма в области – значительное преобладание выездного туризма над въездным и внутренним, что определяется дефицитом интереса к местным достопримечательностям [1].

Одним из приоритетных направлений в развитии туристского сектора области является лечебно-оздоровительный туризм. Всего в пределах региона размещено 44 санаторно-курортных и оздоровительных организаций, в т. ч. 9 санаториев, 19 домов охотника и рыбака, 6 детских реабилитационно-оздоровительных центров (рисунок). По общему количеству учреждений Гомельская область расположена на последнем месте среди регионов Беларуси (таблица).

Определяющим направлением в развитии лечебно-оздоровительного туризма в области является организация детского оздоровления. Гомельский регион лидирует по количеству детей, размещенных в детских реабилитационно-оздоровительных центрах – более 20,9 тыс. человек в 2020 г. [3].

Курорт республиканского значения «Горваль», расположенный на территории Буда-Кошелевского, Жлобинского, Речицкого и Светлогорского районов, является крупнейшим не только в области, но и в республике. Он размещен в пределах живописных ландшафтов заказников республиканского значения «Смычок» и «Выдрица», что делает его еще более привлекательным. Среди курортов местного значения выделяются «Белый Берег» (Гомельский, Речицкий р.), «Рогачев» (Рогачевский р.), «Ченки» (Гомельский р.).



Санатории:

- "Василёк"
- "Солнечный берег"
- "Золотые пески"
- "Сосны"
- "Машиностроитель"
- "Чёнки"
- "Приднепровский"
- Санаторий Гомельского отд. БЖД
- "Серебряные ключи"

Детские реабилитационно-оздоровительные центры:

- ▲ "Качье"
- ▲ "Птичь"
- ▲ "Кристалл"
- ▲ "Романтика"
- ▲ "Пралеска"
- ▲ "Сидельники"
- ★ Дома охотника и рыбака
- Районные центры

Рис. Территориальная структура лечебно-оздоровительного туризма Гомельской области

Таблица

Число санаторно-курортных, оздоровительных организаций и других специализированных средств размещения по областям Беларуси

Показатель	Область					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Число организаций	69	107	44	57	163	52

Помимо лечебно-оздоровительного туризма, Гомельская область специализируется на таких видах, как экскурсионный, познавательный, этнический и религиозный туризм. К основным факторам, оказывающим влияние на туристский спрос в регионе относятся: познавательный; необходимость населения в оздоровлении, вызванная неблагоприятной обстановкой окружающей среды; состояние материально-технической базы туризма в регионе; туристско-рекреационный потенциал административных районов и привлекательность объектов посещения и др.

Объекты временного проживания туристов являются основным компонентом путешествия. В 2018 г. в Гомельской области в индивидуальных средствах размещения проживало 215,5 тыс. человек (1 место среди регионов Беларуси), из которых 4,4 тыс. не являлись гражданами Республики Беларусь. В 2020 г. общее количество лиц, размещенных в гостиницах, уменьшилось практически в 2 раза (119 тыс. чел.), но, при этом наблюдается тенденция увеличения потока иностранных туристов, численность которых составила 19,7 тыс. чел.

В 2020 г. в регионе туристскую деятельность осуществляли 130 организаций. Область посетили около 5,5 тыс. туристов и экскурсантов из 28 стран, обслуженных турагентами и туроператорами [3]. Объем выездных туристских потоков в регионе существенно превышает объем внутренних. За период 2015-2019 гг. численность туристов, отправленных за рубеж туристскими организациями, увеличилась на 38,7 % и составила 57,4 тыс. человек, опережая по данному показателю Брестскую, Гродненскую и Могилевскую области. До возникновения эпидемиологической ситуации, большинство туристов предпочитали отдых в Египте, Украине, Турции, Российской Федерации. Количество туристов и экскурсантов, посетивших регион, выросло с 1,4 до 4,8 тыс. человек, но существенно уступает объему выездного туризма. Отрицательная тенденция наблюдается у показателя численности туристов и экскурсантов, отправленных по маршрутам тура в пределах Гомельской области. Объем туристов уменьшился на 35,1 %, объем экскурсантов – на 25,5 %.

Белорусские туроператоры и турфирмы («Белорустурист», «АТТ», «Виаполь») предлагают узкий спектр автобусных туров с посещением городов и деревень Гомельской области. Основной туристический маршрут области – «Золотое кольцо Гомельщины» – проходит по девяти населенным пунктам (Гомель, Мозырь, Ветка, Лоев, Речица, Туров, Чечерск, деревня Юровичи (Калинковичский район), деревня Красный Берег (Жлобинский район) и включает 17 объектов туристской индустрии [2]. «Белорусская железная дорога» предлагает тур по Гомельской области «Белая Русь: Гомельская классика» с посещением Красного Берега, Гомеля, Ветки длительностью 3-7 дней в зависимости от общего количества посещаемых объектов Беларуси.

На сегодняшний день область значительно уступает другим регионам Беларуси по численности посетивших ее туристов и экскурсантов. Причиной тому могут служить: отсутствие знаний об активно формирующемся турпродукте Гомельщины, малая заинтересованность местного населения во внутреннем туризме, узкий выбор существующих туристских маршрутов в пределах области или их однообразность.

С учетом современной экономической обстановки в мире, вызванной пандемией вируса COVID-19, в сфере туризма произошли значительные изменения. Из-за невозможности выехать за рубеж, белорусы стали больше интересоваться местными курортами, тур-поездками, обзорными экскурсиями и др. В Гомельской области сегодня продолжают набирать популярность услуги местных средств размещения, экскурсионные маршруты, объекты лечебно-оздоровительного туризма, памятники культуры и архитектуры.

Транспортно-коммуникационные коридоры, проходящие по территории Гомельской области, а также приграничное расположение региона способствуют развитию транзитного туризма. Но сдерживающим фактором является недостаточная обеспеченность объектами придорожного сервиса (на протяженных участках трасс они отсутствуют, а ряд существующих не соответствуют современным требованиям) [2]. Следовательно, для повышения уровня туристской привлекательности области необходимо увеличить число объектов обслуживания (пунктов питания, АЗС) вдоль автомобильных дорог и обеспечить качественный сервис для комфорта путешественников, в том числе предполагается создание комплексных объектов обслуживания для получения ряда необходимых услуг.

Библиографические ссылки

1. *Карчевская, Е.Н.* Методическое обеспечение регионального развития и пространственной дифференциации туризма (на примере Гомельской области): автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. экон. наук: 25.00.24 / Е.Н. Карчевская; «Гомельский гос. тех. унив. имени П. О. Сухого». – Калининград, 2008. – 14 с.
2. *Решетников, Д.Г.* География туризма Республики Беларусь / Д.Г. Решетников. – Минск: Четыре четверти, 2011. – 248 с.
3. Туризм и рекреационные ресурсы в Республике Беларусь. Статистический сборник. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

М. В. Медведько

Белорусский государственный университет, г. Минск;

marry_medvedko25@mail.ru;

науч. рук. – Ю. А. Гледко, канд. геогр. наук, доц.

За последние годы отмечается тенденция увеличения количества дней с опасными гидрометеорологическими явлениями (ОЯ) и их интенсивности. Практически все ОЯ оказывают определенное влияние на функционирование различных отраслей экономики, однако степень этого влияния и экономические потери сильно различаются. В данной работе был проведен количественный анализ изменения интенсивности опасных гидрометеорологических явлений на территории Брестской области. Результатами работы является графический материал, в том числе: графики количества случаев с очень сильным дождем и очень сильной жарой, распределения числа случаев ОЯ по месяцам, количества случаев ОЯ холодного и теплого периода, карты числа дней с очень сильным дождем и очень сильной жарой.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления; сильный мороз; метель; гололед; туман; сильная жара; ливневый дождь; шквалы; град; грозы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования базируются на фактическом материале «Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет) за период с 2008 по 2019 гг. В качестве объекта изучения были выбраны следующие опасные гидрометеорологические явления (ОЯ): сильный мороз, метель, гололед, туман, сильная жара, ливневый дождь, шквалы, град, грозы. Анализ изменения интенсивности данных ОЯ проводился для территории Брестской области.

Изучение механизмов формирования ОЯ является важной задачей, как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. При выборе метода исследования ОЯ необходимо учитывать физический процесс формирования данных явлений. Поэтому анализ ОЯ был осуществлен с помощью методов математической статистики и картографирования.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Количественный анализ ОЯ показал значительное их изменение на территории Брестской области за период 2008-2019 гг. Из исследуемых

ОЯ на территории Брестской области за указанный период не были зафиксированы такие виды, как гололед, туман, град и сильный мороз. Всего количество случаев составило 39, из них 36 и 3 пришлось на теплый и холодный периоды соответственно. Наибольшее число случаев было зафиксировано в 2019 г. и составило 7. В целом происходит увеличение количества случаев с ОЯ на территории Брестской области (рис. 1).

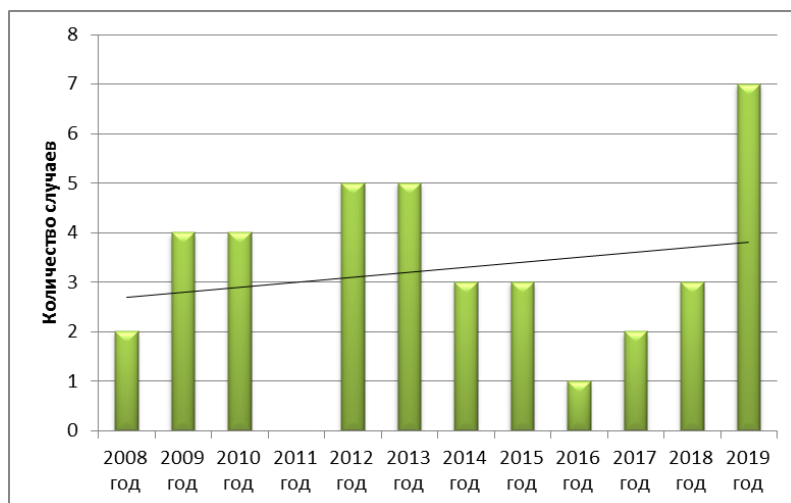


Рис 1. Распределение числа случаев ОЯ по годам (сост. по данным Белгидромета)

Среди всех зафиксированных ОЯ на территории Брестской области за период 2008-2019 гг. наибольшим числом случаев отличился очень сильный дождь и очень сильная жара.

Максимальное число случаев с очень сильным дождем пришлось на 2009 г. В 2010 и 2015 гг. данного ОЯ не наблюдалось. С 2015 г. очень сильный дождь имеет тренд на увеличение. За 12 лет наблюдений количество случаев с очень сильным дождем составило 21, это больше половины от всех зафиксированных случаев ОЯ.

Суммарное количество случаев с очень сильной жарой за период 2008-2019 гг. составило 9. Наибольшее число случаев было зафиксировано в 2015 г. Начиная с 2016 г. наблюдается значительное уменьшение числа случаев данного явления на территории Брестской области.

За весь исследуемый период на территории Брестской области ливень был зафиксирован только в 2019 г. и составил 2 случая. С 2012 г. очень сильного ветра как ОЯ не отмечалось. Такое ОЯ, как очень сильный ветер, в том числе шквалы и смерчи, на территории Брестской области регистрировались также 2 раза в 2013 и 2019 гг.

Из ОЯ холодного периода необходимо отметить очень сильный снег и налипание мокрого снега на провода. Очень сильный снег наблюдался в 2010 и 2013 гг., количество случаев составило 2. Налипание мокрого снега на провода наблюдалось только один раз в 2014 г. С 2015 г. ОЯ холодного периода года на территории Брестской области не наблюдались.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ

Пространственно-временной анализ ОЯ на территории Брестской области показал значительную их изменчивость за период 2008-2019 гг. Наибольшее число дней с ОЯ наблюдались на территории Пинского района, наименьшее – Кобринского и Столинского.

В холодный период года очень сильный дождь – редкое явление. В исследуемый период холодного времени данное ОЯ не наблюдалось. В мае количество дней с данным ОЯ составило 4. Наибольшее число дней с очень сильным дождем наблюдалось в летний период и составило по 6 на каждый месяц. В 2013 г. в Лунинецком районе выпало 81 мм осадков в течение 12 часов, это абсолютный показатель за весь период не только для июня, но и для всей территории области. В сентябре очень сильный дождь наблюдался только 2 дня, с 2009 г. он не фиксировался. Общее количество дней с очень сильным дождем составило 24. Анализ пространственного распределения очень сильного дождя показал, что наибольшее количество данного явления наблюдается в Каменецком и Ивацевичском районах (рис. 2). Образование очень сильных дождей на территории Брестской области было связано с прохождением холодных фронтов и циклонов с Балканского полуострова.

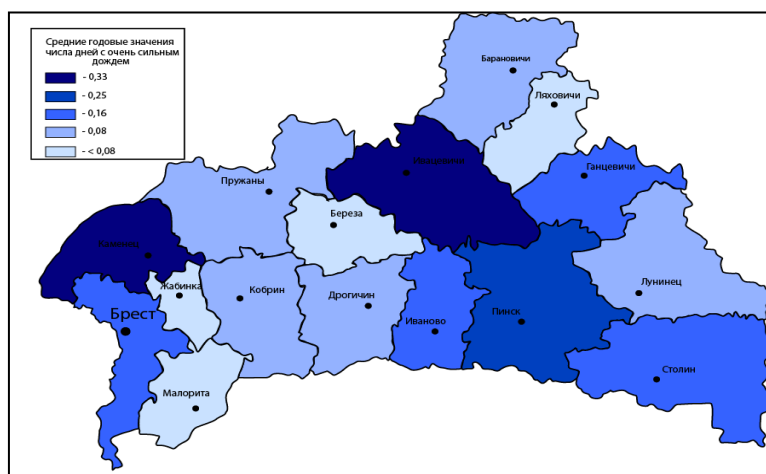


Рис 2. Число дней с очень сильным дождем на территории Брестской области за 2008-2019 гг. (сост. по данным Белгидромета)

При изучении интенсивности очень сильного дождя на территории Брестской области был сделан вывод, что за период 2008-2019 гг. интенсивность данного явления уменьшается. Во внимание принимались средние и абсолютные значения интенсивности очень сильного дождя. Очень сильная жара наблюдается на территории Пинского и Пружанского районов (рис. 3).

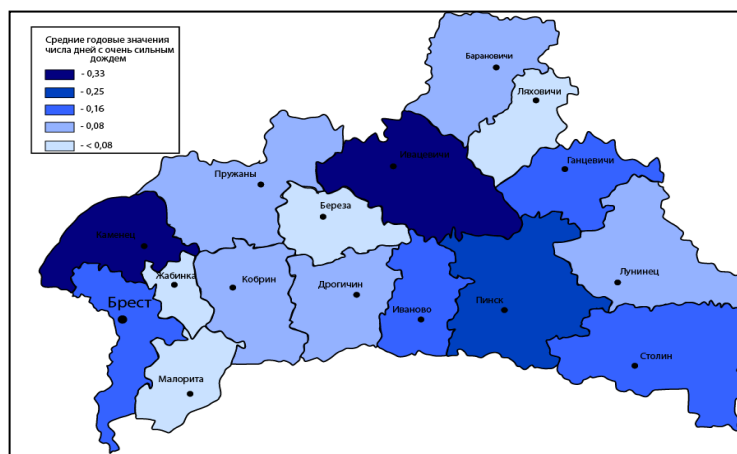


Рис 3. Число дней с очень сильной жарой на территории Брестской области за 2008-2019 гг. (сост. по данным Белгидромета)

На территории Брестской области количество дней с очень сильным ветром составило 2, в том числе шквалами и смерчами – 1. Отмечалось данное явление на территории Барановичского, Лунинецкого, Пинского и Дрогиченского районов. Максимальная интенсивность была зафиксирована в 2019 г. на территории Пинского района и составила 29 м/с. Разрушительные шквалы за период 2008-2019 гг. наблюдались 1 день на территории Пинского и Дрогиченского районов 1 июля 2019 г. с порывами ветра до 29 м/с. Причиной очень сильного ветра и шквалов стал холодный фронтальный раздел, на котором образовывались волновые возмущения.

На территории Брестской области ливневые дожди наблюдались 2 дня в июне и июле 2019 г. на территории Пинского района. Максимальная интенсивность составила 31,1 мм. Очень сильный снег – редкое явление для территории Брестской области. Пространственно-временной анализ изменчивости очень сильного снега показал отсутствие данного явления начиная с 2014 г. Очень сильный снег наблюдался 2 дня на территории Пинского района в 2010 и 2013 гг. в конце ноября и середине марта соответственно. Причиной стало вторжение «южного» циклона в западные районы Брестской области.

Проведенное исследование изменения интенсивности ОЯ на территории Брестской области за 2008-2019 гг. позволило установить, что в условиях потепления климата снижается количество ОЯ холодного периода. При анализе данных было выявлено, что наиболее часто отмечающимися ОЯ являются очень сильный дождь и очень сильная жара. В дальнейшем будет проведена оценка интенсивности воздействия ОЯ на субъекты хозяйствования и определены наиболее уязвимые регионы, для которых гидрометеорологическое обслуживание имеет особую значимость.

СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ УРБОЛАНДШАФТОВ Г.МОГИЛЕВА

В. В. Никифоренко

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
nikiforenkoviktoria309@gmail.com;
науч. рук. – И. И. Счастливая, канд. геогр. наук, доц.*

Проведен анализ планировочной структуры города. На основе существующих подходов и классификации выявлена структура урболандшафтов города. Составлена карта, на которой выделено 13 видов УЛ, объединённых в 5 групп, дана их краткая характеристика. Изучено распространение озелененных территорий общего пользования и подсчитан их удельный вес в рамках групп УЛ. Используя эти данные, составлена карта зеленых насаждений общего пользования г. Могилева.

Ключевые слова: город; озелененные территории общего пользования; урболандшафты; зеленые насаждения; планировочная структура.

Специфика развития и функционирования урбанизированных территорий относится к наиболее актуальным проблемам крупных городов мира, в том числе и Республики Беларусь. С развитием процесса урбанизации, крупные городские территории сталкиваются с проблемами загрязнения окружающей среды, которое напрямую влияет на благосостояние населения. На современном этапе, единицей, наиболее подходящей для изучения городских территорий, является урболандшафт [3]. Под урболандшафтом понимается природно-антропогенный комплекс, обладающий однородной природной основой и определенным типом градостроительного использования.

С учетом существующих подходов и использования последнего Генерального плана, выполнена классификация крупного многофункционального города, четвертого по численности населения в Республике Беларусь (380 440 чел.) – города Могилева. На составленной карте (рис. 1) отражена индивидуальная структура урболандшафтов. К группе центральных урболандшафтов (16,6 % от площади города) относится три вида (1, 2, 3). В эту группу входит самая старая часть города с его историческим и административным центром. На территории исторического центра расположено 107 памятников архитектуры, истории, искусства.

Северо-западную группу (19,6 % от площади города) составляет два вида УЛ (4 и 5). Преобладает промышленная и коммунально-складская застройка (УЛ 4). Относительно молодой жилой застройкой последнего десятилетия отличается УЛ 5 (43,0 % от площади группы). Группа северо-восточных урболандшафтов, доминирующая по площади в городе (24,8 %), включает в себя три вида УЛ (6, 7, 8). В пределах УЛ 8, состав-

ляющего 43,8 % от площади группы, наряду с жилой застройкой располагаются четыре крупных промышленных предприятия. Юго-восточную группу (22,9 % от площади города) составляет два вида УЛ (9, 10). Здесь преобладают ландшафтно-рекреационные территории с большим набором зеленых насаждений (УЛ 10). В пределах южной (16,2 %) группы находится три вида УЛ (11, 12, 13). Жилая усадебная застройка (УЛ 11) занимает наибольшую площадь в группе. На территории УЛ 13 доминирует промышленная и коммунально-складская застройка. Здесь расположен крупнейший в Европе комплекс по производству полиэфирных волокон и технических нитей.

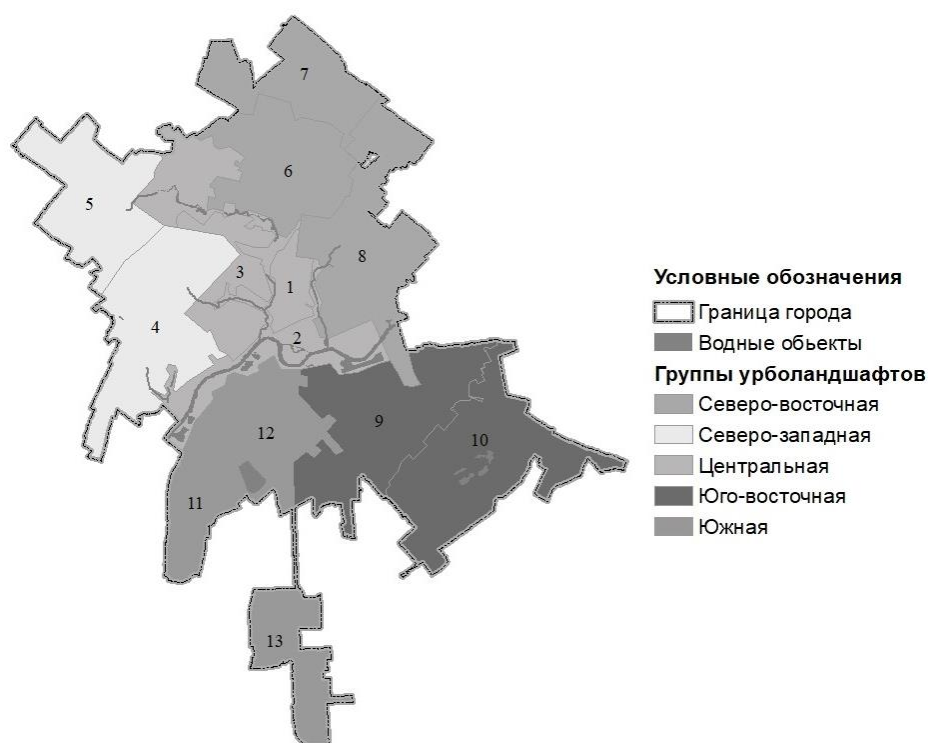


Рис 1. Урболандшафты г. Могилева:

I. Группа Ц – Центральные на волнистой моренной равнине, в долине р. Днепр. Виды УЛ: 1 – исторического и общественного центра с административной застройкой разной направленности; 2 – ландшафтно-рекреационных территорий с парками, водоемами, лесопарками, скверами и стихийной растительностью; 3 – жилой средне- и высокоэтажной, усадебной, административной застройки. II. Группа СЗ – Северо-западные на волнистой моренной равнине, в долине р. Днепр. Виды УЛ: 4 – жилой усадебной, промышленной и коммунально-складской застройки с санитарно-защитными насаждениями; 5 – жилой усадебной и административной застройки. III. Группа СВ – Северо-восточные на волнистой моренной равнине. Виды УЛ: 6 – жилой мало- и среднеэтажной, усадебной и административной застройки; 7 – жилой малоэтажной, промышленной и коммунально-складской застройки с санитарно-защитными насаждениями, парками и лесопарками; 8 – жилой средне- и высокоэтажной, промышленной застройки с санитарно-защитными насаждениями. IV. Группа ЮВ – Юго-восточные на волнистой моренной равнине. Виды УЛ: 9 – жилой среднеэтажной, усадебной, промышленной и коммунально-складской застройки; 10 – ландшафтно-рекреационных территорий с лесопарком, водоемами, стихийной растительностью. V. Группа Ю – Южные на волнистой моренной равнине. Виды УЛ: 11 – жилой усадебной застройки с садами и огородами; 12 – жилой средне- и высокоэтажной, административной застройки с парком и водоемом; 13 – промышленной и коммунально-складской застройки с санитарно-защитными насаждениями.

Выделенные УЛ в ранге групп видов использованы в виде основы для характеристика зеленых насаждений общего пользования, являющейся важным социально-экологическим показателем благоустройства города.

Равномерность является обязательным требованием в системе озеленения. Основные элементы озеленения города – парки, скверы, бульвары, набережные, защитные зоны. На территории Могилева представлено 9 парков, 50 скверов, 4 бульвара (рис. 2).

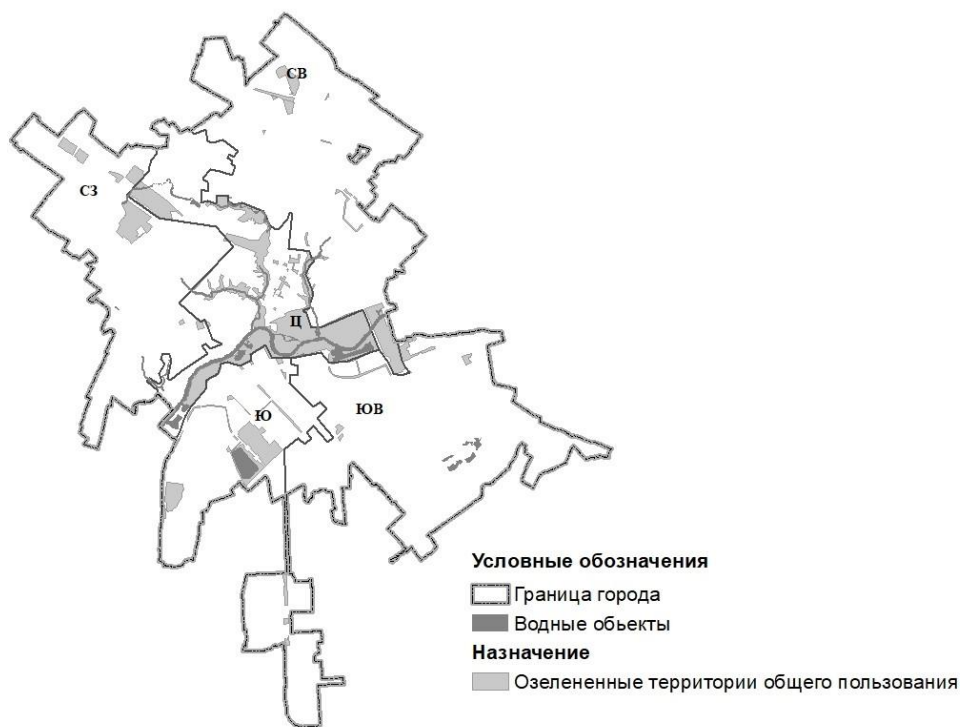


Рис 2. Зеленые насаждения общего пользования г. Могилева

Общая площадь объектов озеленения составляет 1798,3 га. Удельный вес озелененных территорий общего пользования 4,6 %. Обеспеченность жителей объектами озеленения составляет 48,9 м²/чел., что соответствует нормативу 25-30 м²/чел. [1]. На 2020 год общий уровень озелененности городской территории составил 32,8 %, что меньше нормативного требования 40 % озелененности внутри городской черты.

Центральная группа является доминирующей по удельному весу озелененных территорий общего пользования – 32,2 %. Здесь располагается самый старый сквер в городе – Муравьевский, а также парк им. М. Горького, новый парк культуры и отдыха «Подниколье», многочисленное количество облагороженных скверов и набережная. Озелененные территории общего пользования Южной группы составляют 8,8 % от ее площади. Парк 60-летия Великого Октября, расположенный на данной территории, является одним из самых крупных парков в городе. Однако, он не благоустроен для комфортного посещения отсутствуют асфальтовые дорожки,

скамейки, освещение [2]. Насаждения общего пользования в Северо-восточной и Северо-западной группах составляют 4,7 % и 4,6 % соответственно. Не смотря на внушительную площадь этих групп УЛ, озелененные территории общего пользования расположены не равномерно и имеют маленькую площадь, что сказывается на их удельном весе. Юго-восточная группа имеет самый маленький удельный вес насаждений общего пользования – 0,6 %.

Не смотря на достаточное обеспечение населения города зелеными насаждениями, в городе нарушена равномерность их размещения. Основная масса насаждений расположена в центральной части города, а периферия города ограничивается точечным размещением озелененных территорий общего пользования. Сведения, приведенные в данной работе, могут быть использованы для более рационального распределения насаждений на территории города и их последующему благоустройству.

Библиографические ссылки

1. *Силин Р.В., Касьянов В.Ф.* Критерии оценки качества объектов озеленения общего пользования в контексте задачи развития озелененных территорий г. Могилева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова №4, 2018 г. с. 72-76.
2. Схема озелененных территорий общего пользования города Могилева [Электронный ресурс] // Экологический доклад по СЭО.
3. *Счастливая И.И., Звозников А.А.* История формирования и структура урболандшафтов г. Пинска // Географические аспекты устойчивого развития регионов. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. Ч.1. С. 106–109.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ГЕОГРАФИИ СТРАН И НАРОДОВ В 8 КЛАССАХ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБЩЕГО СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В. С. Реуцкая

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
vika.reuckaya228@gmail.com;
науч. рук. – Е. Г. Кольмакова, канд. геогр. наук, доц.*

В работе приведен комплексный анализ учебно-методического обеспечения преподавания географии стран и народов в 8 классе в учреждениях общего среднего образования. Автором разработаны электронные информационно-справочные материалы по географии стран и народов. Они включают в себя глоссарий основных и дополнительных понятий, а также справочные статистические материалы по всему курсу. Электронный образовательный контент размещен на национальном образовательном портале <https://e-vedy.edu.by> и используется в учебном процессе в средней школе.

Ключевые слова: география стран и народов; учебно-методическое обеспечение; глоссарий; электронный образовательный контент.

Учебный предмет «География» в учреждениях общего среднего образования изучается на II и III ступенях в 6-11 классах: в 6 классе – курс «География. Физическая география», в 7 – «География. Материки и океаны», в 8 – «География. Страны и народы» [1], в 9 – «География Беларуси», в 10 – «Социально-экономическая география мира», в 11 классе – «Глобальные проблемы человечества». Кроме того, в 5 классе изучается пропедевтический (подготовительный) курс «Человек и мир».

Структура учебного предмета «География» на II и III ступени в учреждениях общего среднего образования базируется на учебной программе. Учебный курс в 8 классе «География. Страны и народы», по сравнению с другими классами, в большей степени ими обеспечен для грамотного усвоения информации – 70 часов, что составляет 2 часа в неделю. Курс опирается в первую очередь на территориальный и страноведческий подходы в обучении.

Анализ учебно-методического обеспечения показал, что учебный курс «География. Страны и народы» в целом обеспечен необходимыми учебно-методическими пособиями. Но следует обратить внимание, что действующее учебно-методическое пособие для учителей, изданное в 2011 году, на сегодняшний момент не актуально. Существует потребность в издании нового учебно-методического пособия для учителей и опорных конспектов [2].

Учебно-методический комплекс курса «География. Страны и народы. 8 класс» представлен основными и дополнительными компонентами. Основные компоненты: для учащегося – учебное пособие, атлас, контурная карта; для учителя – учебная программа по географии (рисунок).



Рис. Ментальная карта учебно-методического комплекса по курсу «География. Страны и народы» (сост. авт. по [2])

К дополнительным компонентам относятся: для учащегося – рабочая тетрадь, тетрадь для практических и самостоятельных работ, тетрадь для практических и индивидуальных заданий, опорные конспекты, для учителя – дидактические и диагностические материалы, уроки по учебному предмету «География» в 6-9 классах [2].

В современных образовательных учреждениях большое внимание уделяется электронному сопровождению профессиональной деятельности учителя. Автором с этой целью в рамках данной исследовательской ра-

боты были составлены глоссарий программных понятий, глоссарий дополнительных терминов по всему курсу «География. Страны и народы» в 8 классе и дополнительные статистические справочные материалы.

Глоссарий основных понятий разработан по всему курсу и представляет собой словарь программных понятий, обязательных для усвоения, предусмотренных к изучению учебной программой по предмету «География» для VIII классов. Глоссарий дополнительных терминов представляет собой словарь дополнительных понятий, не предусмотренных учебной программой к обязательному изучению. Знание дополнительных понятий позволяет учащимся изучить учебный предмет на углубленном уровне и расширить кругозор.

Особенностью курса «География. Страны и народы» является обилие статистической социально-экономической информации, которая быстро устаревает. В связи с этим возникает необходимость в ее постоянном обновлении. Составленные автором дополнительные справочные материалы представляют собой таблицы с актуальной статистической информацией по различным темам курса «География. Страны и народы» (рис. 2).

Информационно-справочные таблицы включают в себя общие сведения по странам мира; сведения о населении мира в целом и макрорегионов в частности; сводные таблицы по странам-лидерам по различным видам экономической деятельности. В ходе составления справочных материалов брались новейшие данные за 2020-2021 гг. из достоверных источников, отражающих мировую и региональную статистику [3-5]. Разработанный автором образовательный контент размещен на национальном образовательном портале и предназначен для использования учащимися 8 класса в образовательном процессе [6].

Библиографические ссылки

1. *Лопух, П.С.* География. Страны и народы: учебное пособие для 8 класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2019. – 247 с.
2. Учебное методическое обеспечение образовательного процесса по учебному предмету «География» в 2020/2021 учебном году. – Национальный институт образования Республики Беларусь. – 6 с.
3. Демоскоп Weekly [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://demoscope.ru>.
4. Книга фактов ЦРУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cia.gov>.
5. Мировой атлас данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://knoema.ru>.
6. Сайт научно-методического учреждения «Национальный институт образования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://adu.by>.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕЛАРУСИ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

О. В. Силицкая

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
silitskaya@yandex.by;*

науч. рук. – О. В. Лукашёв, канд. геол.-минер. наук, доц.

Охарактеризован химический состав подземных вод. Дан анализ гидрогеохимических данных по гидрологическим бассейнам за период 2010–2019 гг. Выяснено, что в целом по республике основными поллютантами подземных вод являются азот аммонийный и нитраты. Концентрация хлоридов и сульфатов в подземных водах колеблется на уровне фоновых значений. Рассмотрено влияние отвалов соли и отвалов фосфогипса на подземные воды. Прослеживается сильное химическое загрязнение хлоридами и сульфатами в Солигорском горнодобывающем районе, а также фосфатами и сульфатами в зоне расположения отвалов фосфогипса Гомельского химического завода.

Ключевые слова: подземные воды; питьевое водоснабжение; гидрогеохимические показатели; загрязнение; отвалы фосфогипса; вредные выбросы терриконов.

Проблема качества подземных воды актуальна вследствие того, что на сегодняшний день в Беларуси практически весь объем хозяйственно-питьевого водоснабжения базируется на их эксплуатации.

Подземные воды Беларуси представлены тремя классами: пресными, солоноватыми и солеными водами, а также рассолами [1].

Пресные воды питьевого назначения распространены повсюду, мощность их слоя колеблется от 100 до 1000 м и более [2]. **Основными водоносными горизонтами являются три повсеместно выдержанных комплекса (верхнепротерозойских отложений и верхней трещиноватой зоны кристаллического фундамента, девонских отложений, отложений четвертичной системы), а также водоносные комплексы фрагментарного распространения [3].**

В ненарушенных условиях формируются пресные подземные воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с минерализацией 0,2–0,5 г/л. Однако на участках разгрузки глубинных минерализованных вод, приуроченных к региональным тектоническим разломам и солянокупольным структурам в Припятском прогибе, наблюдается увеличение минерализации до 4–6 г/л, и воды приобретают хлоридный натриевый состав [4].

В последние десятилетия подземные воды находятся под влиянием антропогенного загрязнения, что обуславливает повышенные концентрации химических элементов, иногда выше их предельно допустимой концентрации (далее ПДК) [5].

При оценке пригодности воды для питья, следует рассматривать нитраты, азот аммонийный, хлориды, сульфаты и фосфаты, так как именно

они считаются наиболее распространенными компонентами загрязнения подземных вод [6].

При написании статьи были проанализированы данные по гидрологическим бассейнам за период 2010–2019 гг., выполнено сравнение данных относительно их ПДК, изучена динамика концентрации каждого компонента загрязнения за 10 летний период, рассмотрены локальные источники загрязнения подземных вод Беларуси.

Хлориды относятся к главным ионам химического состава природных вод, при превышениях ПДК они ухудшают вкусовые качества воды. Воды с повышенным содержанием хлоридов не могут применяться для **многих технических и хозяйственных целей, а также для орошения сельскохозяйственных угодий**. За 10 лет на территории Беларуси превышения хлоридов не обнаружено [7].

Значительные количества сульфатов поступают в водные объекты с подземным стоком при отмирании организмов и окислении веществ растительного и животного происхождения. Их повышенная концентрация ухудшает органолептические свойства и оказывает физиологическое воздействие на организм человека. За рассмотренный период превышения не выявлены [7].

Большинство нитратов поступает в подземные воды с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами особенно после гидробиологической очистки, когда их концентрация достигает значений ПДК. Кроме того, могут попадать в воды со стоком с сельскохозяйственных угодий и со сбросными водами с орошаемых полей, на которых применяются азотные удобрения. Повышенное содержание указывает на ухудшение санитарного состояния водного объекта [7].

Максимальная концентрация, превышающая ПДК в 3,2 раза, наблюдалась в 2015 г. в бассейне Днепра (рис. 1). Повышенные концентрации указывают на плохое качество воды. В бассейнах с повышенными концентрациями следует провести более подробный анализ для поиска локального источника загрязнения и его устранения.

Основным компонентом сельскохозяйственного загрязнения подземных вод является азот аммонийный. Повышение его концентрации связано с животноводческими фермами, хозяйственно-бытовыми сточными водами, поверхностным стоком с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также со сточными водами предприятий пищевой и химической промышленности [7].

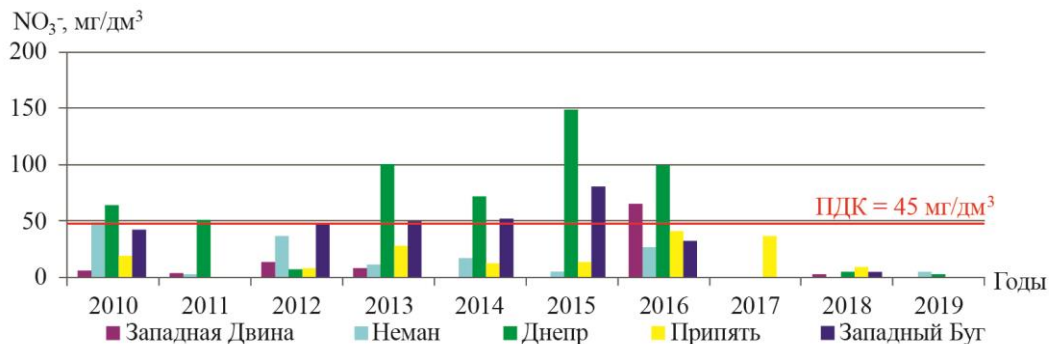


Рис. 1. Содержание NO₃⁻ в артезианских водах Беларуси в период 2010–2019 гг. [8]

Максимальная концентрация азота аммонийного, которая превышает ПДК в 16,5 раз, отмечена в 2010 г. в бассейне Западной Двины (рис. 2). В бассейнах с его повышенной концентрацией следует подробнее проанализировать сложившуюся ситуацию и выявить локальные источники загрязнения, провести работы, направленные на сокращение сброса вод, не отвечающих показателям условно чистых вод.

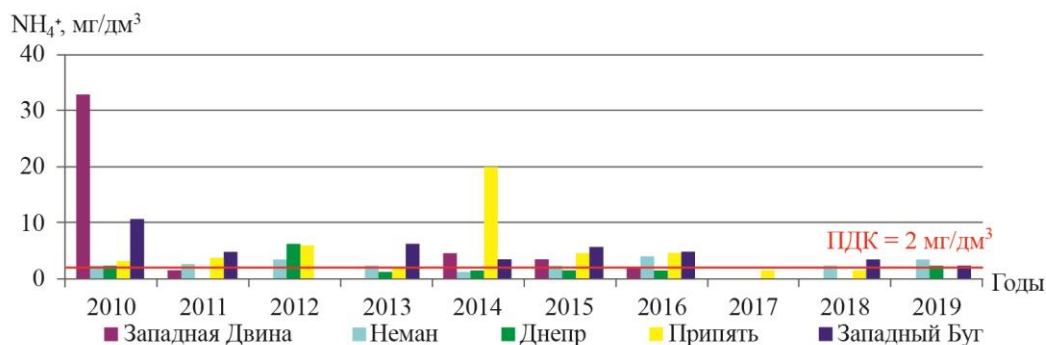


Рис. 2. Содержание NH₄⁺ в артезианских водах Беларуси в период 2010–2019 гг. [8]

В целом по республике гидрохимический режим свидетельствует об удовлетворительном качестве подземных вод по среднему содержанию основных контролируемых макрокомпонентов. Однако существенное локальное влияние на состояние подземных вод оказывают солеотвалы галитовых отходов и глинисто-солевые шламы ОАО «Беларуськалий», а также фосфогипсовые отходы Гомельского химического завода.

На предприятии ОАО «Беларуськалий» Старобинского месторождения калийных солей максимальные концентрации хлоридов превосходят ПДК в 142 раза, а сульфатов – в 3 раза [9].

В свою очередь на Гомельском химическом заводе максимальные концентрации фосфатов, превышающие ПДК более чем в 1000 раз, приурочены к отвалам фосфогипса. Максимальные концентрации сульфатов в 2 раза превышают ПДК. Сульфатное загрязнение преобладает в зоне

ближней периферии отвалов фосфогипса, а также распространяется в глубину [10, 11].

Рассмотренные данные показывают, что загрязнение подземных вод на горнодобывающих предприятиях имеет локальный характер и сопряжено с расположением источников загрязнения на дневной поверхности.

Таким образом, на территории Беларуси основными поллютантами подземных вод являются азот аммонийный и нитраты. В Солигорском горнодобывающем районе наиболее масштабна хлоридная и сульфатная контаминация, в зоне расположения отвалов фосфогипса Гомельского химического завода – фосфатная и сульфатная.

Библиографические ссылки

1. *Махнач, А. А.* Очерк геологии Беларуси / А. А. Махнач, А. В. Кудельский. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 171 с.
2. *Кудельский, А. В.* Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 271 с.
3. *Кудельский, А. В.* История воды: происхождение, возраст, эволюция состава / А. В. Кудельский. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 116 с.
4. *Кудельский, А. В.* Пресные подземные воды Беларуси (ресурсы и качество) / А. В. Кудельский [и др.] // Літасфера. – 1994. – №1. – С. 160–167.
5. *Кудельский, А. В.* Подземные воды Оршанской впадины / А. В. Кудельский. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 131 с.
6. *Ясовеев, М. Г.* Геоэкологические критерии качества пресной питьевой воды / М. Г. Ясовеев, Д. Д. Таликадзе, А. С. Андриевская // Репозиторий БГПУ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://elib.bspu.by/handle/doc/2895>. – Дата доступа: 18.02.2021.
7. *Зенин, А. А.* Гидрохимический словарь / А. А. Зенин, Н. В. Белоусова; под ред. А. М. Никанорова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 240 с.
8. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2020. Режим доступа: <http://www.nsmos.by/content/423.html>. – Дата доступа: 22.03.2020.
9. *Жуковец, А. М.* Воздействие горнодобывающих предприятий на поверхностные и подземные воды на примере ОАО «Беларуськалий» / А. М. Жуковец // Актуальные проблемы экологии: материалы XII Международ. науч.-практ. конф, Гродно, 4–6 окт. 2017 г. / редкол.: В. Н. Бурдь [и др.]. – Гродно, 2017. – С. 195–197.
10. *Шершнёв, О. В.* Оценка воздействия отходов фосфогипса на компоненты окружающей среды / О. В. Шершнёв // Экологический вестник. – 2016. – №2. – С. 97–103.
11. *Коцур, В. В.* Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода: автореф. дис. ...канд. геол.-минер. наук: 25.00.09 / В. В. Коцур; НАН Беларуси, Ин-т геолог. наук. – Минск, 2004. – 21 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Н. А. Шестаков

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
nisha23@yandex.by;
науч. рук. – Ю. М. Обуховский, д-р. геогр. наук, проф.*

Рассмотрены основные факторы, влияющие на изображение лесов на космо- и аэрофотоснимках. Произведено автоматизированное обнаружение вырубок на основе классификационной обработки спутниковых данных. Перечислены основные дешифровочные признаки лесной растительности и сделаны выводы об индикационном значении лесов при дешифрировании природных компонентов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; лесное дешифрирование; индикационное значение лесов.

Цель исследования заключается в изучении особенностей воспроизведения изображения лесов на материалах дистанционного зондирования (ДЗЗ), методов получения информации о лесной растительности, выполнении автоматизированного дешифрирования лесных участков на основе классификационной обработки и обнаружения изменений (для выявления вырубок), а также оценке индикационных свойств лесов.

Воспроизведение лесов на материалах ДЗЗ обусловлено рядом факторов, наиболее значимыми из которых можно считать масштаб съемки и пространственное разрешение снимков (для цифровых материалов), спектральная яркость лесных объектов, наличие сезонности в условиях умеренных широт, антропогенное воздействие на лесной покров.

В научно-практических целях наиболее эффективно использование данных ДЗЗ среднего и крупного масштаба (1:10 000 для аэрофотоснимков и 1:100 000 для космических снимков). Для определения породного состава требуется более точное пространственное разрешение – очень высокое (1–10 м) и сверхвысокое (менее 1 м) [1, 2].

Закономерности в изменении величины отражательной способности лесных объектов в различных зонах электромагнитного спектра графически проявляются в кривых спектральной яркости. Лесной покров характеризуется выраженным максимумом отражательной способности в зеленой (0,55 мкм), минимумом – в красной (0,66 мкм) зоне видимого диапазона и резким увеличением отражения в ближней инфракрасной зоне [1]. Причем, отражательная способность лиственных пород выше, чем у хвойных: из распространенных лесообразующих пород она будет выше у листа осины (26–27 % при длине волны электромагнитного спектра $\lambda = 0,75$ мкм), а наименьшей – у ели (14–15 % при $\lambda = 0,75$ мкм). Со сменой сезонов изменяется диапазон эффективной для фотосъемки зоны спектра. Весной

при распускании листьев она располагается в пределах 0,52–0,62 мкм, летом минимальные значения диапазона смещаются к 0,72 мкм, а осенью во время увядания листьев зона располагается от 0,6 мкм до 0,7 мкм. В летний сезон отражательная способность листа осины выше, чем у листа березы, однако весной и осенью листва березы отражает больше. Спектральная яркость выше будет у молодых растений, ниже – у растений, находящихся в стадии полной зрелости. При наличии заболевания листья слабее поглощают красные и менее интенсивно отражают инфракрасные лучи спектра, что будет сказываться на тоне и цвете изображения.

Антропогенное воздействие на леса может быть прямым (вырубка леса, разбивка квартальной сети, создание новых насаждений) и косвенным (усыхание деревьев в результате мелиоративных работ, загнивание вследствие переувлажнения почв, техногенное загрязнение лесов). Динамику изменения состояния лесного покрова можно наблюдать как визуально, так и с помощью автоматизированного дешифрирования. Программный продукт ENVI (версия 5.3) позволяет выполнить обнаружение вырубки участка леса по разновременным данным [2–3]. В качестве ключевого участка была взята территория к северо-востоку от учебной географической станции «Западная Березина» (Воложинский район Минской области). Для обнаружения и анализа изменений были взяты мультиспектральные и панхроматические снимки БКА за 27.06.2015 г. и 20.07.2020 г., а точнее их фрагменты с последующим проведением процедуры панхроматического обострения (Gram-Schmidt Pan Sharpening), результатом которой для каждого фрагмента было мультиспектральное изображение (комбинация каналов 3-2-1 – «естественные цвета») с пространственным разрешением 2,1 м (разрешение панхроматического снимка) (рис. 1).



Рис. 1. Фрагменты снимков БКА на исследуемый участок за 27.06.2015 г. (слева) и 20.07.2020 г. (справа)

Путем обучаемой классификации (метод максимального правдоподобия – Maximum Likelihood Classification) с использованием областей интереса были выделены лесные участки, подвергшиеся затем генерализации изображения в ходе процедуры отсеивания (Sieve Classes, этап пост-классификационной обработки) (рис. 2).

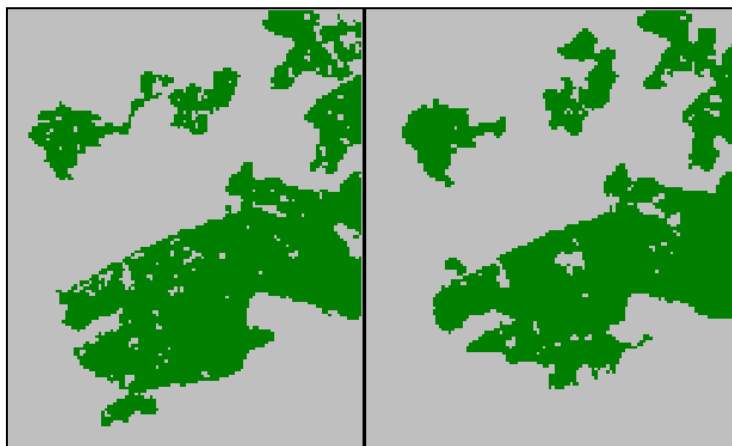


Рис. 2. Автоматизированное распознавание лесных участков с применением контролируемой классификации (метод параллелепипеда)

На основе результатов классификации был проведен автоматизированный анализ изменений лесного покрова по разновременным данным (инструмент Change detection difference map). Итог – выявление вырубок пораженного короедом древостоя в пределах рассматриваемого участка (рис. 3).

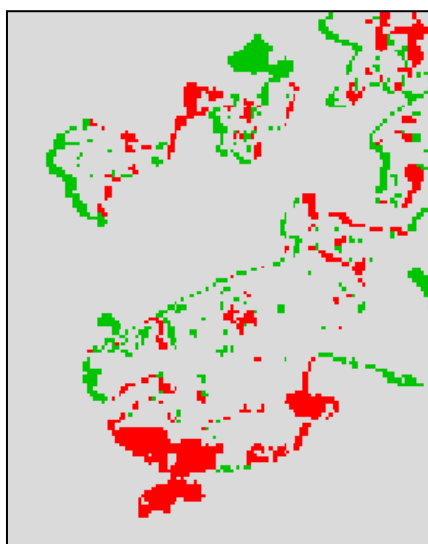


Рис. 3. Автоматизированное обнаружение изменений:
сокращение лесных площадей – красный цвет;
увеличение лесных площадей – зеленый цвет

Лесные объекты достаточно достоверно определяются по прямым дешифровочным признакам – геометрическим (размеры, форма крон, собственные и падающие тени), яркостным (тон, цвет изображения, спектральная яркость), структурным (общий рисунок полога, его текстура и структура), что активно используется при определении породного состава лесонасаждений, оценки их качества и продуктивности, возраста деревьев, наличия фитопатогенных процессов [1, 2].

Косвенные признаки также применимы в процессе дешифрирования, однако используются чаще при индикационных исследованиях. С различной степенью достоверности леса могут выступать индикаторами при ландшафтных исследованиях. Наиболее выраженная связь наблюдается у лесной растительности и почв. При определении генетических типов четвертичных отложений и их литологических особенностей необходимо комплексное использование индикационных свойств лесов и рельефа. При индикации уровня залегания грунтовых вод используется связь лесов с почвами и литологическими особенностями строения территории [5].

Исследование таких природных компонентов, как лес, с использованием данных дистанционных исследований требует от специалиста помимо знаний основ ДЗЗ, иметь представление об объекте дешифрирования, его свойствах, особенностях и закономерностях, а также уметь правильно применить эти знания. Достоверно выполненное дешифрирование позволяет создать на его основе качественный картографический продукт.

Библиографические ссылки

1. *Шалькевич, Ф. Е.* Методы дистанционных исследований: лаб. Практикум для студентов геогр. фак. / Ф. Е. Шалькевич, А. А. Топаз. – Минск: БГУ, 2012. – 63 с.
2. *Севко О. А.* Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве: курс лекций по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-75 0101 «Лесное хозяйство» / О. А. Севко. – Мн.: БГТУ, 2005. – 170 с.
3. ENVI 5.1. Руководство пользователя. Москва: Совзонд, 2014.
4. *Топаз, А. А.* Цифровая обработка космических снимков в программном комплексе ENVI: учеб.-метод. пособие / А. А. Топаз, Е. В. Казяк. – Минск: БГУ, 2018. – 79 с.
5. *Обуховский, Ю. М.* Ландшафтная индикация. – Мн.: БГУ, 2008. – 254 с.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ГЕОГРАФИИ БЕЛАРУСИ В 9 КЛАССАХ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБЩЕГО СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

М. В. Яшенкова

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
marina.yashankova@gmail.com;
науч. рук. – Е. Г. Кольмакова, канд. геогр. наук, доц.*

В работе проанализированы содержание и учебно-методическая обеспеченность курса «География Беларуси» в 9 классе в учреждениях общего среднего образования. Автором подготовлены электронные информационно-справочные материалы по географии Беларуси: глоссарий основных и дополнительных понятий, справочные таблицы с дополнительной статистической информацией по курсу. Разработанный электронный образовательный контент размещен на национальном образовательном портале <https://e-vedu.edu.by/> и используется в учебном процессе в средней школе.

Ключевые слова: география Беларуси; учебно-методическое обеспечение; информационно-справочные материалы; глоссарий; электронный образовательный контент.

Учебный предмет «География» на II и III ступени в учреждениях общего среднего образования изучается с 6 по 11 класс. Также имеется пропедевтический (подготовительный) учебный предмет «Человек и мир», который изучается в 5 классе.

В 9 классе учащиеся учреждений общего среднего образования изучают «География. География Беларуси». Учебная программа предполагает изучение семи тем, которые содержат физико-географическую, социально-экономическую характеристику Беларуси, а также региональный обзор страны по природно-хозяйственным районам и административным областям. Курс обеспечен 52 часами [4]. Изучение и преподавание курса «География Беларуси» в 9 классе находится в зависимости с учебно-методическим обеспечением учебного предмета. Учебно-методический комплекс курса «География Беларуси» представлен основными и дополнительными компонентами и отражен на рисунке. Основные компоненты: для учащегося – учебное пособие, атлас, контурная карта; для учителя – учебная программа по географии и учебно-методическое пособие для учителей по географии Беларуси. К дополнительным компонентам относятся: для учащегося – тетрадь для практических и самостоятельных работ, рабочая тетрадь, тетрадь для практических и индивидуальных заданий, электронный образовательный ресурс; для учителя – дидактические и диагностические материалы, план-конспект уроков, электронный образовательный ресурс, учебная программа факультативных занятий (рисунок).



Рис. Ментальная карта учебно-методического комплекса по курсу «География Беларуси» (сост. авт. по [4])

Анализ обязательных и дополнительных элементов учебно-методического комплекса по географии Беларуси в 9 классе показал, что курс достаточно хорошо обеспечен основными элементами учебно-методического комплекса для учащихся и учителей. Дополнительные материалы учебно-методического комплекса позволяют преподавателям обеспечить высокий уровень усвоения знаний у учащихся 9-х классов. Но из-за недавнего изменения учебной программы, необходимо обновление и расширение ряда дополнительных элементов учебно-методического комплекса, в том числе и электронными средствами обучения.

Электронные средства обучения обладают высоким психолого-педагогическим и методическим потенциалом, позволяющим активизировать учебную и самостоятельную деятельность учащихся на учебном занятии, оптимизируя временные и личностные ресурсы субъектов образовательного

процесса. Высокая их вариативность помогает учитывать индивидуальные особенности учащихся и повышает эффективность процесса обучения [3].

В ходе выполнения исследовательской работы автором разработан электронный образовательный ресурс по географии Беларуси в 9 классе, которые включают в себя:

- глоссарий основных понятий;
- глоссарий дополнительных терминов;
- дополнительные статистические материалы.

Глоссарий основных понятий по географии Беларуси был составлен на основе учебной программы по учебному предмету «География» в 9 классе [2]. Глоссарий дополнительных терминов представляет собой словарь дополнительных понятий, не предусмотренных учебной программой к обязательному изучению.

Информационно-справочные материалы представляют собой справочные таблицы с дополнительной статистической информацией по разным темам курса «География Беларуси». Данные материалы содержат дополнительную информацию по уникальным природным объектам и явлениям Беларуси, демографии и социально-экономическим показателям страны за 2020-2021 годы. Они разработаны на основе учебного пособия, атласа по географии Беларуси и статистических данных Национального статистического комитета Республики Беларусь [1; 2; 5].

Разработанный автором электронный образовательный контент размещен на национальном образовательном портале <https://e-vedy.edu.by/> и предназначен для использования учащимися 9-х классов в образовательном процессе.

Библиографические ссылки

1. Атлас. География Беларуси: учебное пособие для 10 класса учреждений общего среднего образования / РУП «Белкартография». – Минск, 2016. – 64 с.
2. Брилевский, М.Н., Климович А.В. География Беларуси. 9 класс: учеб. пособие. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2019 – 247 с.
3. Учебное методическое обеспечение образовательного процесса по учебному предмету «География» в 2020/2021 учебном году. – Национальный институт образования Республики Беларусь. – 6 с.
4. НМО «Национальный институт образования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://adu.by>.
5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>.

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОГО МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ЭКРАНА

А. А. Александрова

Белорусский государственный университет, г. Минск;

hanna.aliaksandrava@gmail.com;

науч. рук. – О. А. Лаврова, к. физ.-мат. наук, доц.

Данная работа посвящена численному моделированию сферического магнито-жидкостного экрана. Объектом исследования является задача об экранировании внешнего однородного магнитного поля слоем магнитной жидкости, покрывающим сферу. Математическая модель представляет собой уравнения Максвелла для структуры магнитного поля внутри магнито-жидкостного слоя и в окружающей воздушной среде. Математическая модель численно решается с помощью метода конечных элементов средствами PDEToolbox MATLAB. Вычисление коэффициента эффективности экранирования осуществляется для различных параметров магнитной жидкости.

Ключевые слова: магнитная жидкость; сферический экран; метод конечных элементов; PDE Toolbox MATLAB; коэффициент эффективности экранирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть D_1 обозначает внутреннюю шарообразную область с центром в начале системы координат, заполненную воздухом, D_2 – область магнито-жидкостного экрана, покрывающего D_1 , D_3 – внешнюю область, заполненную воздухом. Определим расчетную область $D = \bar{D}_1 \cup \bar{D}_2 \cup \bar{D}_3$, где $D_i \cap D_j = \emptyset \forall i, j = \overline{1,3}, i \neq j$. Определим размер экранирующего слоя как $\delta = R_2/R_1$, где R_1 и R_2 – внутренний и внешний радиусы области D_2 , соответственно.

Уравнения Максвелла для непроводящих сред в стационарном случае имеют вид: $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{0}$, $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ в D , где \mathbf{H} и \mathbf{B} – векторы магнитного поля и магнитной индукции, соответственно, см. [1]. Магнитная индукция \mathbf{B} связана с магнитным полем \mathbf{H} и вектором намагниченности \mathbf{M} соотношением $\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$, где μ_0 – константа проводимости в воздухе. Намагниченность магнитной жидкости \mathbf{M} параллельна магнитному полю \mathbf{H} : $\mathbf{M} = M(H)\frac{\mathbf{H}}{H}$, где $M(H)$ задает закон намагничивания и $H = |\mathbf{H}|$. Закон намагничивания определяем соотношением Ланжевена

$$M(H) = M_s \left(\coth(\gamma H) - \frac{1}{\gamma H} \right), \quad \gamma = \frac{3\chi_L}{M_s},$$

где χ_L – начальная восприимчивость Ланжевена, M_s – намагниченность насыщения магнитной жидкости. Намагниченность воздуха равна 0.

Магнитное поле \mathbf{H} выразим в терминах магнитостатического потенциала u соотношением $\mathbf{H} = -\nabla u$ как внутри магнитной жидкости, так и вне ее.

Так как области D_i инвариантны относительно вращения вокруг оси Oz , опишем их двумерными меридиональными областями Ω_i : $D_i = \{(r, \theta, z) \mid (r, z) \in \Omega_i, 0 \leq \theta < 2\pi\}$, $\forall i = \overline{1,3}$, где (r, θ, z) – цилиндрические координаты. Обозначим через γ_1 и γ_2 , внутреннюю и внешнюю границы области экрана Ω_2 , соответственно. В силу осевой симметрии относительно оси Oz и симметрии относительно плоскости $z = 0$ трехмерная расчетная область D может быть описана как двумерная при $r \geq 0, z \geq 0$. Введем безразмерные переменные

$$\tilde{r} = \frac{r}{R_1}, \tilde{z} = \frac{z}{R_1}, \tilde{H} = \frac{H}{H_0}; \quad \tilde{\nabla} = R_1 \nabla, \tilde{u} = \frac{u}{H_0 R_1},$$

где H_0 – интенсивность приложенного на бесконечности магнитного поля, направленного вдоль оси Oz . Геометрия задачи в безразмерных переменных (опустим тильду в обозначениях) представлена на рисунке 1.

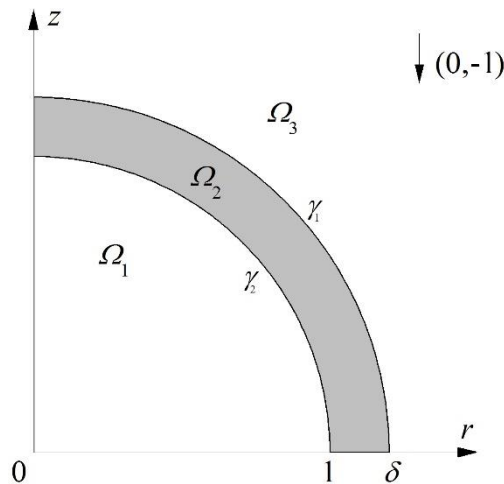


Рис. 1. Геометрия расчетной области

Обезразмеренные уравнения Максвелла в терминах магнитостатического потенциала запишутся в виде (опустим тильду в обозначениях)

$$-\nabla \cdot (\mu_i (|\nabla u_i|) \nabla u_i) = 0 \quad \text{в } \Omega_i, \quad (1)$$

$$\mu_1 = \mu_3 = 1, \mu_2 (|\nabla u_2|) = 1 + 3\chi_L \frac{(\coth(\gamma|\nabla u_2|) - \frac{1}{\gamma|\nabla u_2|})}{\gamma|\nabla u_2|}, \gamma = \frac{3\chi_L H_0}{M_S}.$$

Условия перехода, граничные условия симметрии относительно оси z и плоскости $z = 0$ и условие на бесконечности записываются в виде

$$u_1 = u_2, \quad \frac{\partial u_1}{\partial n} = \mu_2 \frac{\partial u_2}{\partial n} \quad \text{на } \gamma_1, \quad u_2 = u_3, \quad \mu_2 \frac{\partial u_2}{\partial n} = \frac{\partial u_3}{\partial n} \quad \text{на } \gamma_2; \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial n} = 0, \forall i = \overline{1,3} \quad \text{для } r = 0; \quad u_i = 0, \forall i = \overline{1,3} \quad \text{для } z = 0; \quad (3)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} u_3 = z. \quad (4)$$

Задача (1)–(4) решается для магнитоэстатического потенциала внутри и вне магнитной жидкости, при различных значениях безразмерного приложенного магнитного поля γ , начальной восприимчивости Ланжевена χ_L и размера экрана δ .

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

С помощью метода конечных элементов осуществлялось численное решение математической модели (1)–(4) для ограниченной области $\Omega_3 = (0,5) \times (0,5) \setminus (\bar{\Omega}_1 \cup \bar{\Omega}_2)$ средствами библиотеки PDE Toolbox в MATLAB. В результате итерационного решения нелинейных уравнений была построена кусочно-линейная аппроксимация для магнитоэстатического потенциала на треугольной сетке (рис. 2). В области сферического экрана наблюдается искривление контурных линий для потенциала и изменение вертикального направления магнитного поля.

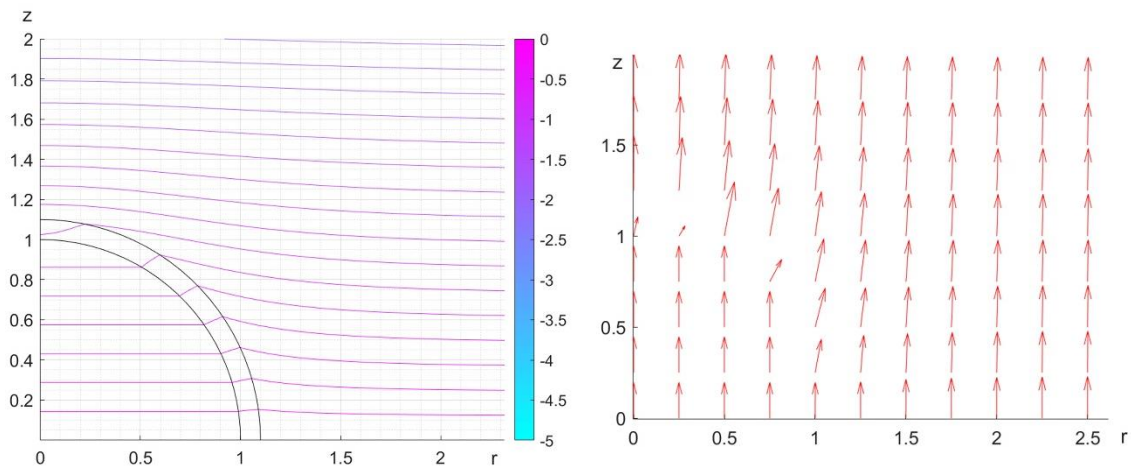


Рис. 2. Графики изолиний магнитоэстатического потенциала (слева) и градиента от потенциала (справа), для параметров $\gamma = 0.01$, $\chi_L = 4.06$, $\delta = 1.1$

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Для оценки эффективности экранирования сферическим слоем магнитной жидкости вычисляется коэффициент эффективности экранирования K_{ef} , который оценивает уменьшение интенсивности приложенного магнитного поля H_0 при переходе во внутреннюю область, ограниченную сферическим экраном: $K_{ef} = 1/|\nabla u_1(0,0)|$.

Были проведены расчеты коэффициента K_{ef} при различных значениях параметров. Проверка вычислений осуществлялась сравнением с результатом из [2], соответствующим линейной модели при $\mu_2 = 1 + \chi_L$:

$$K_{ef,linear} = \frac{1}{9\mu_2} \left((2\mu_2 + 1)(\mu_2 + 2) - \frac{2}{\delta^3} (\mu_2 - 1)^2 \right). \quad (5)$$

В таблице 1 приведена относительная ошибка для коэффициента эффективности экранирования при сравнении (5) с результатами расчетов для нелинейной модели (1)–(4). Отметим, что с ростом приложенного поля γ ошибка растет из-за влияния нелинейности модели.

Таблица 1

Величина относительной ошибки для различных значений параметров χ_L и γ

$\chi_L \backslash \gamma$	1	10	100
4,06	0,008	0,124	0,152
7,61	0,010	0,202	0,270
9,97	0,011	0,239	0,332

На рисунке 3 видно, что наилучшая эффективность экранирования наблюдается в слабых магнитных полях. Отметим, что качественное поведение зависимости K_{ef} от приложенного поля для сферического экрана аналогично соответствующим результатам для цилиндрического экрана [3].

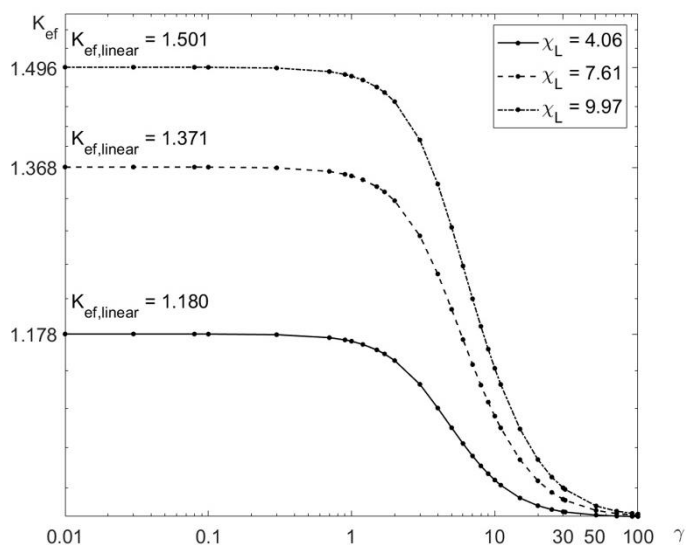


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности экранирования от безразмерного приложенного поля γ и начальной восприимчивости Ланжевена χ_L

Библиографические ссылки

1. *Rosensweig R. E.* Ferrohydrodynamics. Dover Pubns, 1998.
2. *Celozzi S., Araneo R., Lovat G.* Electromagnetic Shielding. Wiley – IEEE Press, 2008.
3. *Lavrova O., Polevikov V., Polevikov S.* Numerical modeling of magnetic shielding by a cylindrical ferrofluid layer // *Mathematical Modelling and Analysis*, 2019. Vol. 24, no. 2. P. 155-70.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТОРИТЕЛЛИНГА В МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Б. А. Бадак

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
badak.bazhena@bk.ru;*

науч. рук. – О.Б. Долгополова, канд. физ.-мат. наук, доц.

В данной статье представлена модель авторской дидактической системы в преподавании математики и информатики в профильных классах с использованием технологии сторителлинга.

Ключевые слова: сторителлинг, цифровой сторителлинг, метод, эвристический диалог, авторская дидактическая система.

Во время проведения педагогического эксперимента, направленного на повышение уровня внутренней и внешней мотивации учащихся к изучению учебных предметов «Математика» и «Информатика» в ГУО «Лицей № 1 г. Минска», значительное место занимает такая инновационная педагогическая технология, как сторителлинг. В настоящее время точных и чётких подходов к определению сторителлинга не установлено. Использование сторителлинга в образовательном процессе можно рассматривать в контексте понятия «эдьютейнмент» (от английского: education-обучение и entertainment-развлечение) и анализа эффективности его применения. В своих работах А.В. Новичкова и Ю.В. Воскресенская сторителлинг рассматривают как «способ передачи информации и знаний, а также побуждение к желаемым действиям с помощью поучительных историй», «метод управления путём трансляции ценностей», инструмент воздействия, выполняющий пропагандистские, объединяющие, коммуникативные, мотивирующие и утилитарные функции» [1, с. 3]. Принято выделять два основных вида педагогического сторителлинга: классический сторителлинг (классический рассказ служит для трансляции явного знания) и активный сторителлинг (проявляется в практической деятельности и представляет неявное знание). В связи с развитием информационных технологий в настоящее время широко распространён цифровой сторителлинг. Цифровой сторителлинг – формат сторителлинга, в котором рассказывание истории дополняется визуальным рядом (видео, скрайбинг, майнд-мэп, инфографика).

В своей педагогической деятельности на примере изучения избранных тем школьного курса математики в профильных физико-математических классах во время учебных занятий, а также при проведении факультативных занятий устанавливаю пропедевтическую связь

между средним и высшим образованием (между школой и вузом) посредством внедрения технологии сторителлинга, используя метод «научных рассказов», в классах естественно-гуманитарной направленности практикую метод «увлекательных рассказов». Таким образом, под **методом «научных рассказов»** я понимаю метод обучения, направленный на установление преемственности математического образования в системе «школа-университет» с помощью рассказов о применении и расширении базовых математических знаний и о различных разделах высшей математики, а также на установление межпредметных связей (рис. 1).

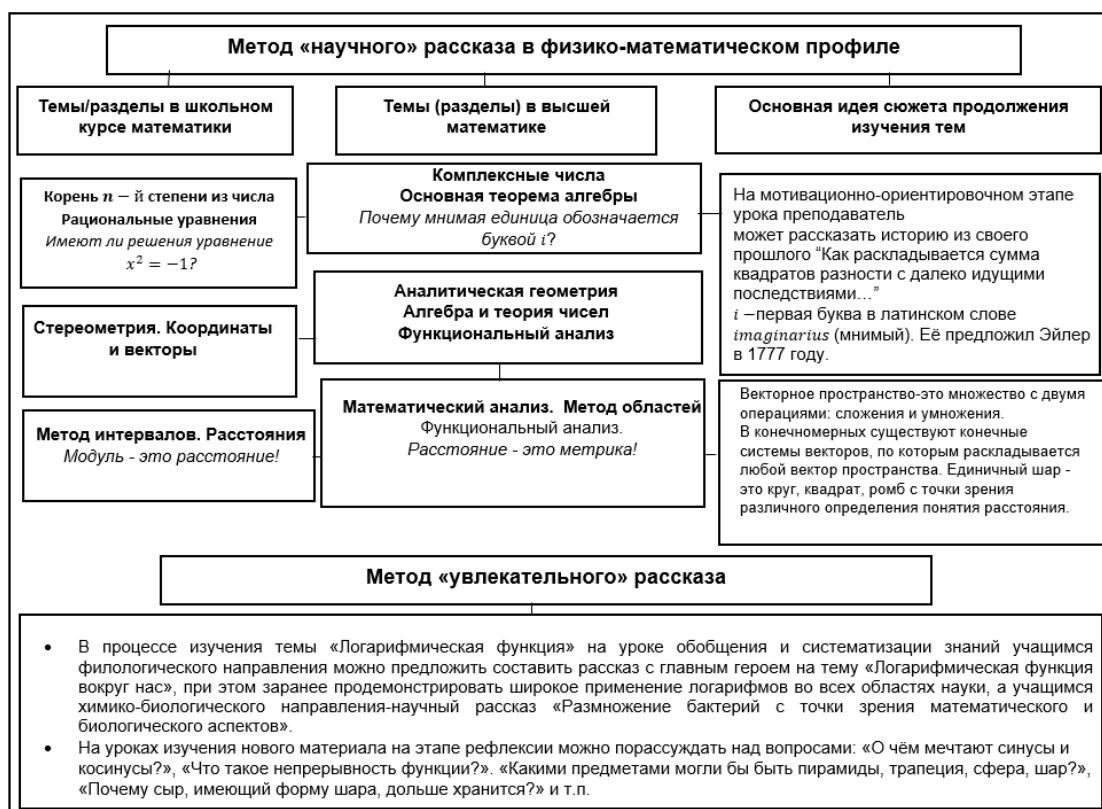


Рис. 1. Метод «научного» рассказа, метод «увлекательного» рассказа

Приведу фрагмент классического рассказа «*Жизнь без расстояний - это математическая абстракция или реальность?*», который был использован на факультативном занятии в 10 классе в качестве обобщения и систематизации знаний по теме «Расстояния».

Учитель: Можете ли Вы представить жизнь без расстояний?

Ученик: Используя возможности Сети Интернет через социальные сети мы можем общаться друг с другом, но многие другие аспекты нашей жизни связаны с понятием расстояния.

Учитель: Однако Вы можете создать математическую абстракцию, в которой метрика ρ постоянна и равна, например, единице. Данная

абстракция уже существует и называется дискретным пространством X :

$$\rho(x, y) = \begin{cases} 1, & x \neq y; \\ 0, & x = y. \end{cases}$$

Учитель: В данном определении x и y любые две точки пространства. Согласно определению все точки находятся одинаково далеко или одинаково близко друг от друга.

Учитель: Дискретное пространство легко представить в виде таблицы расстояний, как это делают в автомобильном атласе. На пересечении строки и столбца в такой таблице указывается расстояние для точек, соответствующих данной строке и столбцу таблицы. Для дискретного пространства по диагонали такой таблицы будут идти нули, все остальные значения единицы.

Под *методом «увлекательных рассказов»* предлагаю понимать метод обучения, направленный на развитие правильных представлений о характере отражения математикой явлений и процессов в природе и обществе, роли методов математики в научном познании окружающего мира и его закономерностей; на установление междисциплинарных связей, а также формирование общих способов интеллектуальной деятельности, характерных для математики и являющихся основой познавательной культуры, значимой для различных сфер деятельности человека.

В классах филологического профиля при изучении раздела «Тригонометрия» преподавателю можно продемонстрировать историческое происхождение некоторых понятий. Так, например, первоначально вместо синуса рассматривали всю хорду, стягивающую концы дуги. Поэтому индусы, придумавшие это понятие, называли его словом «джива» или «джийя», что означало тетиву охотничьего лука. Данное слово перекочевало в арабский язык, где оно стало звучать как «джиба», позже «джайб». В арабском языке «джайб» означает «пазуха», поэтому при переводе на латинский язык оно превратилось в «sinus»-«пазуха», «перегиб». Слово «косинус» произошло в результате сокращения выражения «complimentisinus» – «синус дополнения», выражающего тот факт, что равен синусу угла, дополнительного к углу α до $\frac{\pi}{2}$, а именно $\cos \alpha = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$. Пример реализации технологии сторителлинга представлен в качестве схемы (рис. 1).

В процессе преподавания информатики в течение 2020-2021 учебного года в ГУО «Лицей № 1 г. Минска» с помощью сервиса Google Classroom мной были созданы два курса «Информатика в 10 классе» и «Информатика в 11 классе» с использованием элементов технологии сторителлинга. Коды доступов на данные курсы **wx5btxu** и **wixczbb** соответ-

ственно. Проекты, выполненные учащимися представлены различными форматами: дудл-видео (рисованное видео), анимированным сторителлингом, презентациями, видеомонтажом веб-страницами с мультимедийным контентом.

Подводя итог, следует отметить, что в процессе преподавания учебных предметов «Математика» и «Информатика» в ГУО «Лицей № 1 г. Минска» мной была смоделирована авторская дидактическая система с использованием технологии сторителлинга (рис. 2)

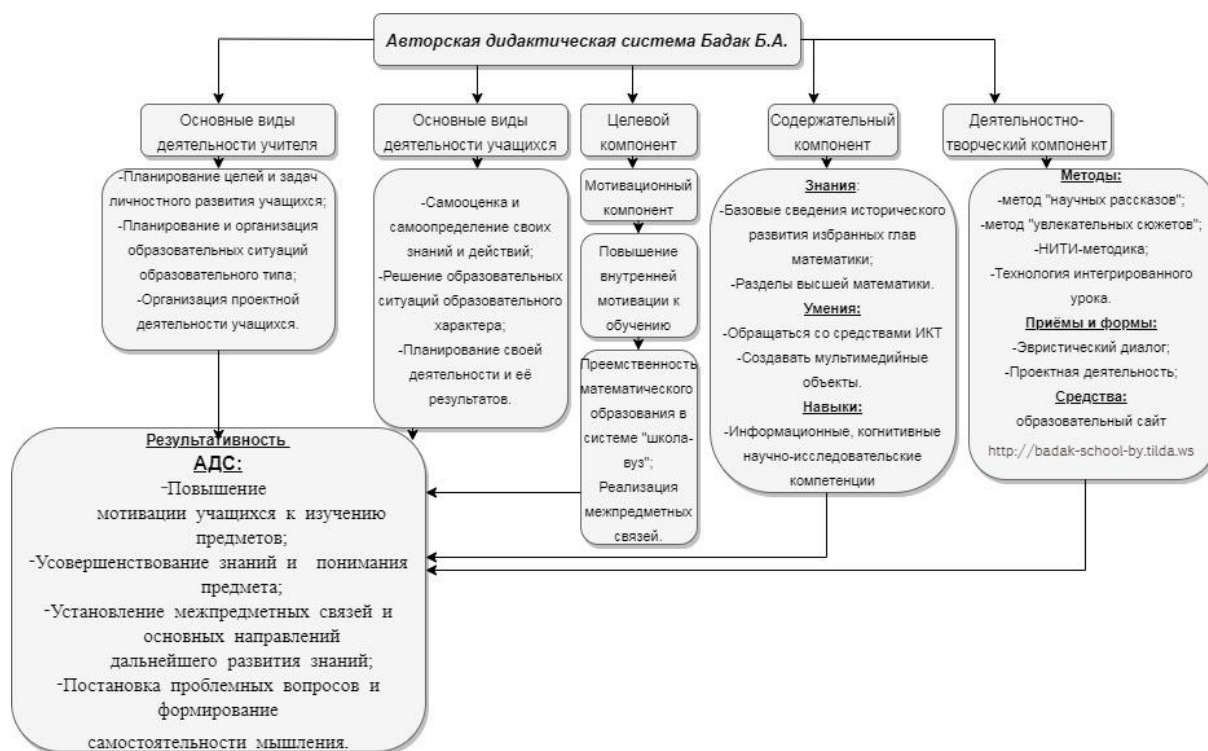


Рис. 2. Дидактическая система

Библиографические ссылки

1. Новичкова А.В., Воскресенская Ю.В. Сторителлинг как современный инструмент управления персоналом. // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 6 (25) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/39EVN614.pdf> . – Дата доступа: 17.02.2021.

СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «ИНТЕРНЕТ МАГАЗИН ПО ПРОДАЖЕ ТЕЛЕФОНОВ»

М. В. Ивашко

*Белорусский государственный университет, г.Минска;
mike.ivashka@gmail.com;
науч. рук. – С. А. Вельченко, ст. преп.*

Любой бизнес стремится к переходу в цифровой формат, ведь это путь к сокращению расходов на содержание персонала, издержек и возможность быстро расширять и масштабировать процессы на предприятии. Именно это обуславливает невероятный рост спроса на услуги коммерческой разработки веб приложений, мобильных приложений и систем управления контентом (CMS, content management system). В данной работе была поставлена цель изучить и использовать на практике ведущие технологии и подходы к коммерческой разработке программного обеспечения, изучить основные проблемы, возникающие в ходе решения различных задач для бизнеса. Основной упор был сделан на логику приложения, также известную как Back-End часть.

Ключевые слова: интернет магазин; мобильные телефоны; приложение по продаже; магазин сотовых телефонов; купить мобильный телефон.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является разработка веб-приложения для интернет магазина по продаже телефонов.

Были поставлены следующие задачи:

- 1)Реализовать приложение типа клиент-сервер, имеющее возможности просмотра каталога, добавления товара в корзину, поиска по каталогу, просмотра детальной информации о товаре, оформления заказа с выбором места доставки, валидации данных на всех этапах взаимодействия с приложением, администрирования заказов и обладающее бизнес-логикой для вышперечисленных операций, а также отслеживанием количества товара на складе
- 2)Разработать минималистический и понятный пользователям любого возраста User Interface(UI), позволяющий пользователям легко выполнять задачи в соответствии со своими целями.

ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ

Данное приложение является полноценной информационной системой, поэтому его создание требует использования большого количества различных технологий.

Вся Back-End часть приложения реализована на самом популярном фреймворке языка программирования Java – Spring. Он позволяет легко

создать веб-приложение благодаря модулю Spring MVC и реализовать правильную архитектуру, построенную по паттерну Dependency Injection с помощью Spring Beans. Для валидации данных использована библиотека Hibernate Validation API. Среда разработки – IntelliJ IDEA 2021.1 Ultimate.

Для хранения базы данных товаров, а также других данных приложения была использована СУБД H2.

Для обеспечения защиты страниц сервиса в соответствии с ролью пользователя, а также для создания системы авторизации был использован модуль Spring Security. Он позволяет реализовать такие возможности минимальными усилиями со стороны разработчика и упрощает управление пользовательским доступом на сайте в целом.

Графический интерфейс был построен с помощью шаблонизатора JSP (Java Server Pages). Он позволяет создавать HTML страницы и, в некоторых местах, используя Java-based синтаксис, вставлять данные, передаваемые из контроллера при вызове метода, возвращающего эту страницу.

Контроль версий осуществлялся с помощью системы контроля версий (VCS) GitHub. Весь процесс разработки можно отследить по истории изменений («коммитов»).

Внешние зависимости и сборка были возложены на Apache Maven Build tool, каждый модуль содержит собственные зависимости, а версии библиотек конфигурируются в родительском для остальных файле pom.xml.

Также стоит отметить, что достаточно много внимания было уделено непосредственно тестированию приложения. Приложение было протестировано в десктопном браузере, на экране планшета и мобильного телефона. Благодаря возможностям Bootstrap приложение полностью адаптивно.

Все формы ввода валидируются, поэтому пользователь не может самостоятельно вызвать исключительную ситуацию или попасть на несуществующую страницу сайта.

На практике проверена защита всех страниц сайта от попытки неавторизованного проникновения в систему. Все POST-методы обязаны содержать скрытый параметр – CSRF-токен, без которого запрос не будет принят сервером. GET-запросы возвращают ошибку 403 – Forbidden, т.е. доступ запрещен.

При создании любых объектов пользователем производится проверка. Ее цель – выявление отсутствия нарушений ограничений, введенных в объектах DTO. Так, например, при попытке создать заказ с товаром, количество которого на складе недостаточно для выполнения заказа, пользователь получит сообщение об ошибке.

Эта ситуация обрабатывается на сервере и, в случае ошибки, в модель страницы добавляется ранее скрытый блок с описанием ошибки для пользователя. Эта операция сильно облегчена библиотекой тэгов `spring`, благодаря которым поля форм, содержащие ошибки, автоматически помечаются и подписываются сообщением с пояснением.

Бизнес логика приложения покрыта `unit`-тестами, а все классы `DAO` (`Data Access Object`) имеют также покрытие интеграционными тестами, которые проверяют корректность взаимодействия с базой данных.

Всего в приложении 26 тестовых методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы было реализовано веб-приложение средствами языка программирования `Java`, а также его фреймворка `Spring`.

Были изучены различные технологии, связанные как с разработкой серверной части и базы данных, так и клиентской части.

В разработке приложения максимально использовались парадигмы объектно-ориентированного программирования, что делает его легко масштабируемым и позволяет в сжатые сроки вносить изменения в логику и интерфейс приложения. Использовались такие паттерны проектирования, как `DAO`, `MVC`, `Dependency Injection`, `Inversion of Control`, `Service`, `DTO`, парадигма `Test-Driven Development (TDD)`.

Были достигнуты все поставленные цели и реализован весь запланированный функционал.

Библиографические ссылки

1. Блинов И.Н. *Java Методы программирования: уч-мет. пособие* / И.Н. Блинов, В.С. Романчик – Мн.: «Четыре четверти», 2013. – 14 с.
2. `Spring: Guides` [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://spring.io/guides> . – Дата доступа: 09.04.2021.
3. `Stack Overflow: Java/Spring` [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://stackoverflow.com/> – Дата доступа: 20.04.2021.
4. `Java Platform, Enterprise Edition: The Java EE Tutorial Release 7 - Contents` [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://docs.oracle.com/javaee/7/tutorial/> – Дата доступа: 15.04.2021.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОСТАТИКИ НА СЕТКЕ, НЕ СОГЛАСОВАННОЙ С ГЕОМЕТРИЕЙ ОБЛАСТИ

Д. А. Ильина

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
dariailyina123@gmail.com;
науч. рук. – О. А. Лаврова, канд. физ.-мат. наук, доц.*

В статье рассматривается метод конечных элементов CutFEM для решения трехмерной задачи магнитостатики в двухфазной области с использованием сетки, не согласованной с поверхностью раздела двух сред внутри расчетной области. Анализируются точность и порядок сходимости численного решения, построенного с помощью линейных и квадратичных конечных элементов на тетраэдрах.

Ключевые слова: метод конечных элементов; метод Нитше; несогласованная сетка; точность решения; порядок сходимости.

ВВЕДЕНИЕ

Используя классический метод конечных элементов для численного решения эллиптической задачи с разрывом на гладкой внутренней границе раздела, разрывность данных обычно учитывают путем согласования сетки с границей раздела. Однако, использование такой сетки может быть затруднительно в случае более сложных задач, при которых граница раздела перемещается. Тогда полезно использовать одну и ту же сетку в расчетной области для разных положений границы раздела.

Будем рассматривать метод CutFEM [1]. В расчетной области строится тетраэдральная фоновая сетка, не зависящая от положения границы раздела. Фоновая сетка используется для построения решения с использованием кусочно-полиномиальных конечных элементов. Граница раздела задается с помощью функции уровня. CutFEM рассматривается в сочетании с вариантом метода Нитше, который учитывает в аппроксимации через границу раздела разрывы, внутренние по отношению к конечным элементам.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Полагаем, что область Ω_1 с магнитной проницаемостью $\alpha_1 = const > 0$ имеет форму шара с радиусом R и центром в начале координат. Поверхность шара Γ будем задавать множеством уровня: $\{(x, y, z) : \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - R = 0\}$. Область Ω_2 вне шара аппроксимируется

кубической областью $(-5R, 5R)^3$ с магнитной проницаемостью $\alpha_2 = \text{const} > 0$. Так, $\Omega := \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Gamma$, $\Gamma = \bar{\Omega}_1 \cap \bar{\Omega}_2$, а функция магнитной проницаемости α :

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_1, & (x, y, z) \in \Omega_1, \\ \alpha_2, & (x, y, z) \in \Omega_2. \end{cases}$$

Для каждой достаточно регулярной функции u в $\Omega_1 \cup \Omega_2$ определим скачок u на Γ как $[u] = u_1|_{\Gamma} - u_2|_{\Gamma}$, где $u_i = u|_{\Omega_i}$. Обратно, для u_i , определенного на Ω_i , отождествляется пара $\{u_1, u_2\}$ с функцией u , которая равна u_i на Ω_i .

Рассмотрим стационарную задачу магнитостатики с разрывной проницаемостью на Γ и неоднородным условием Дирихле на внешней границе:

$$\begin{cases} -\nabla \cdot (\alpha \nabla u) = f & \text{в } \Omega_1 \cup \Omega_2, \\ u = u_D & \text{на } \partial\Omega, \\ [u] = 0 & \text{на } \Gamma, \\ [\alpha \nabla_{\mathbf{n}} u] = 0 & \text{на } \Gamma, \end{cases} \quad (1)$$

где $\nabla_{\mathbf{n}} u = \mathbf{n} \cdot \nabla u$, \mathbf{n} – вектор единичной внешней нормали к Ω_1 . В удалении от Ω_1 магнитное поле полагается вертикально-направленным вдоль оси Oz с постоянной интенсивностью H_0 . Можно сформулировать условие Дирихле как $u = H_0 z$ на $\partial\Omega$.

С помощью замены переменной $\hat{u} = u - u_D$ (далее просто u) можно привести задачу (1) к следующей задаче с однородным условием Дирихле и неоднородным условием на границе раздела:

$$\begin{cases} -\nabla \cdot (\alpha \nabla u) = f & \text{в } \Omega_1 \cup \Omega_2, \\ u = 0 & \text{на } \partial\Omega, \\ [u] = 0 & \text{на } \Gamma, \\ [\alpha \nabla_{\mathbf{n}} u] = g & \text{на } \Gamma, \end{cases}$$

где $g = (\alpha_2 - \alpha_1)H_0 n_z$. Полагаем, что $f \in L_2(\Omega)$, $g \in H^{1/2}(\Gamma)$.

Вариационная формулировка задачи имеет следующий вид: необходимо найти $u \in H_0^1(\Omega)$ такую, что $a(u, v) = (f, v)_{\Omega} + (g, v)_{\Gamma} \quad \forall v \in H_0^1(\Omega)$, где $a(u, v) = (\alpha \nabla u, \nabla v)_{\Omega}$. Будем искать дискретное решение $U = (U_1, U_2)$ в пространстве $V^h = V_1^h \times V_2^h$, где $V_i^h = \{v_i \in H^1(\Omega_i) : v_i|_{K_i} \text{ – линейная, } v_i|_{\partial\Omega} = 0\}$, $K_i = K \cap \Omega_i$ часть элемента K в Ω_i .

Функции в V_h могут быть разрывными на границе раздела Γ . Так как Γ может пересекать элемент K произвольно, размеры частей K_i не могут быть полностью характеризованы параметрами размера сетки. Чтобы гарантировать стабильность метода, накладываются условия на комбинации числовых потоков путем выбора подходящих весов, зависящих от геометрии [1]. Введем понятие среднего числового потока $\{\alpha \nabla_{\mathbf{n}} v\} := (\alpha_1 \kappa_1 \nabla_{\mathbf{n}} v_1 + \alpha_2 \kappa_2 \nabla_{\mathbf{n}} v_2)|_{\Gamma}$, где $\kappa_i|_K = |K_i|/|K|$, $|K| := \text{meas } K$.

Метод определяется вариационной задачей нахождения $U \in V^h$ такой, что $a_h(U, v) = L(v)$, $\forall v \in V^h$, где

$$a_h(U, v) := \sum_{i=1}^2 (\alpha_i \nabla U_i, \nabla v_i)_{\Omega_i} - ([U], \{\alpha \nabla_{\mathbf{n}} v\})_{\Gamma} - (\{\alpha \nabla_{\mathbf{n}} U\}, [v])_{\Gamma} + (\lambda h^{-1} [U], [v])_{\Gamma},$$

$$L(v) := \sum_{i=1}^2 (f, v_i)_{\Omega_i} + (\kappa_2 g, v_1)_{\Gamma} + (\kappa_1 g, v_2)_{\Gamma},$$

λ – параметр стабилизации.

Для задачи (1) с условием $u = H_0 z$ на бесконечности известно точное решение, см. [2, с. 94]

$$u_{\text{exact}}(x, y, z) = \begin{cases} \frac{3\alpha_2}{\alpha_1 + 2\alpha_2} H_0 z, & (x, y, z) \in \Omega_1, \\ H_0 z + R^3 \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1 + 2\alpha_2} \frac{H_0 z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}, & (x, y, z) \in \Omega_2. \end{cases}$$

ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для расчетов полагаем $H_0 = 1$, радиус шара $R = 1$, $\alpha_1 = 10$, $\alpha_2 = 1$, параметр дискретизации сетки $h = 1$, параметр стабилизации $\lambda = 20(\alpha_1 + \alpha_2)$. Решение строится с помощью конечно-элементного пакета Netgen/NGsolve и библиотеки расширения ngsxfem.

При условии Дирихле $u = H_0 z$ на внешней границе $\partial\Omega$ получаем, что не наблюдается уменьшения ошибки при измельчении сетки и метод не сходится к точному решению задачи (см. рис. 1). Для дальнейших вычислений условие Дирихле на внешней границе полагается равным $u = H_0 z (1 + R^3 (\alpha_2 - \alpha_1) / ((\alpha_1 + 2\alpha_2)(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}))$ на $\partial\Omega$. Построив численные решения с помощью линейного CutFEM для данного условия и значений параметра дискретизации h , $h/2$ и $h/4$ и рассчитав для них ошибки в норме пространства L_2 получаем, что при измельчении сетки ошибка уменьшается (см. рис. 1).

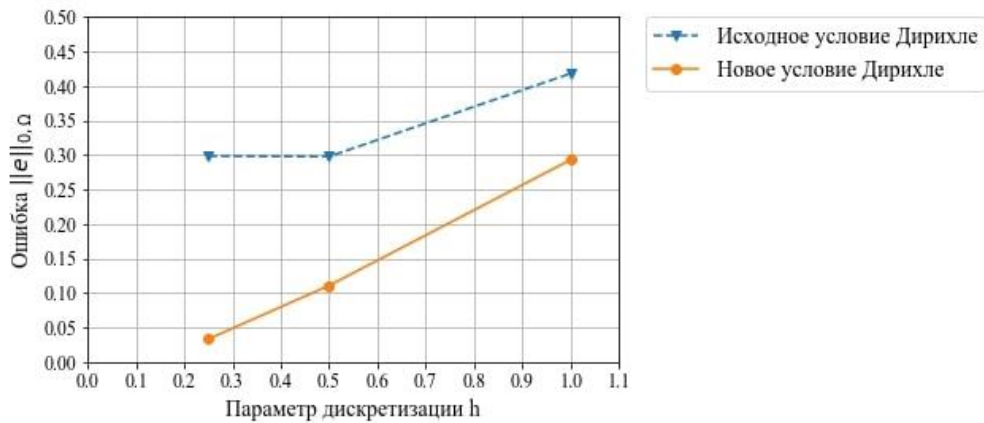


Рис. 1. Зависимость ошибки решения от параметра дискретизации

Рассчитаем экспериментальный порядок сходимости $r_{i,i+1} = \log_2(\|e_i\|_{0,\Omega} / \|e_{i+1}\|_{0,\Omega})$, где e_i – ошибка для конечно-элементного решения, построенного на сетке с параметром дискретизации h , а e_{i+1} – с параметром $h/2$.

Таблица

Экспериментальный порядок сходимости CutFEM

Параметр дискретизации	Ошибка линейного CutFEM	Порядок сходимости линейного CutFEM	Ошибка квадратичного CutFEM	Порядок сходимости квадратичного CutFEM
1,0	0,29275		0,52072	
0,5	0,11060	1,40434	0,07981	2,70591
0,25	0,03314	1,73867		

Экспериментальный порядок сходимости в норме L_2 стремится к двум в случае кусочно-линейной аппроксимации неизвестного решения, к трем для кусочно-квадратичной аппроксимации (см. табл.) и совпадает с порядком сходимости, доказанным теоретически [3, с. 46, лемма 3.22].

Библиографические ссылки

1. Burman E. CutFEM: Discretizing geometry and partial differential equations / E. Burman [et al.] // Int. J. Numer. Meth. Engng. 2015. Vol. 104. P. 472–501. DOI: 10.1002/nme.4823.
2. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика / Р. Розенцвейг; пер. В.В.Кирюшиной; под ред. В.В. Гогосова. – Москва : Мир, 1989. – 358 с.
3. Lehrenfeld C. Extended finite element methods for interface problems: lecture notes / C. Lehrenfeld; TU Wien. – Vienna, 2015. – 90 p.

ДИДАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ОНЛАЙН КУРСА ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

У. В. Лях

Белорусский государственный университет, г. Минск;

liakh.uliana@gmail.com;

науч. рук. – Н. В. Бровка, д-р пед. наук, канд. физ.-мат. наук, проф.

В статье решаются следующие задачи: изучить педагогическую и научно-методическую литературу и выявить критерии для анализа содержания онлайн курсов по математическому анализу, проанализировать содержания существующих курсов по математическому анализу, внедрить дополнения к содержанию онлайн курса по математическому анализу на платформе БГУ moodle.

Ключевые слова: математический анализ; онлайн курс; пиринговое обучение; программированное обучение; дидактические аспекты.

Технологии в образовательной сфере в последние годы стремительно развиваются. Современный преподаватель не всегда успевает их все отслеживать. В аудитории внимание и мотивацию студентов поддерживает опытный преподаватель. В онлайн-обучении внимание студентов с каждым годом все сложнее удерживать, поэтому необходимо использовать новые технологии обучения, которые бы поддерживали интерес и мотивацию учиться. Особенно это касается теоретических образовательных курсов по таким учебным дисциплинам, какой является математический анализ.

Был тщательно исследован ряд новых технологий и разработаны шаги, которые помогли улучшить готовый онлайн-курс математического анализа на платформе moodle ММФ БГУ. Перечислим разработанные шаги: выделить группы оценки; проанализировать существующие курсы по матем. анализу; предложить улучшения для курса по матем. анализу на платформе moodle ММФ БГУ.

В группы оценки были включены:

– **Дидактические аспекты**, основанные на фундаментальных дидактических принципах преподавания матем. анализа, которые разбиты на 5 критериев: *научность в обучении*, т.е. фундаментальны ли знания в материале курса, есть ли отражение современной науки в материале; *сознательность усвоения*, т.е. целесообразна ли подборка вопросов, упражнений, примеров и задач, которые будут проверять заучен материал или знания учащегося основаны на понимании; *сознательность усвоения предполагает активность студентов* в процессе обучения, т.е. то, как поддерживается активность учащихся; *прочность и доступность знаний*, т.е. основано ли обучение на психологических особенностях мышления и запоминания обучающихся; *индивидуальный подход* и присутствие *дифференциации в обучении* [1,2].

– **Элементы наглядности** были вынесены отдельно, как наиболее объёмная сфера использования, т.е. использование ли средств изобразительной наглядности (фото- и видеопродукция, учебные рисунки), условно-графическая наглядность (таблицы, блок-схемы, чертежи, карты, диаграммы) или мультимедийная наглядность [1].

– **Пиринговый подход** является учебной практикой, в которой учащиеся взаимодействуют друг с другом для достижения образовательных целей. Взаимодействие включает в себя обмен знаниями, идеями и опытом. Происходит через чаты, сообщения, видеозвонки, т.е. проверяется как взаимодействуют учащиеся между собой [4].

– **Программированный подход обучения.** Какой структуре обучения соответствуют содержание математического анализа на онлайн курсе – последовательно ли излагается материал, т.е. линейная или ветвящая структура [3].

Затем по данным группам оценки, мы проанализировали курсы по матем. анализу. Один от частного образовательного центра Computer Science Center от кандидата физико-математических наук Александра Храброва, доцента факультета математики и компьютерных наук СПбГУ и доцента департамента информатики Санкт-Петербургской школы физико-математических и компьютерных наук ВШЭ. Второй – от Уральского федерального университета от доктора педагогических наук, кандидата физико-математических наук и профессора Матвеевой Татьяны Анатольевны, а также кандидата педагогических наук, доцента кафедры высшей математики УрФУ и доцента кафедры информационных технологий и автоматизированного проектирования УрФУ Рыжковой Наталии Геннадьевной, которые были в открытом доступе [5,6].

По оценке дидактических аспектов у двух курсов можно выделить сильными следующие принципы: научности, сознательности, активности, прочности и доступности. Однако, принцип индивидуализации не был проработан на курсе А. Храброва так же подробно, как у Т. Матвеевой и Н. Рыжковой, с помощью вводного тестирования в начале курса.

По оценке наглядности можно сказать, что курс у Т. Матвеевой и Н. Рыжковой наиболее разнообразен в своих элементах наглядности. Содержит больше таблиц, блок схем и сопровождается мультимедийной наглядностью в интерактивных примерах на Питоне. Эти примеры относятся к практической части курса и обеспечивают более глубокое понимание рассматриваемых вопросов.

По оценке использования пирингового подхода курс А. Храброва наиболее развит и просматривается большая активность в обучении друг друга учащимися в отличие от курса Т. Матвеевой и Н. Рыжковой. У них присутствуют элементы пирингового обучения, которые, однако, совер-

шенно не приспособлены для использования. По оценке программированного подхода обучения обоих курсов основаны на линейном подходе.

Подводя итоги анализа онлайн курсов по математическому анализу на основе дидактических аспектов отметим, что мы смогли увидеть применимость наших групп оценки. Далее, на основании сделанных выводов усовершенствовали курс по математическому анализу на moodle ММФ.

В онлайн курс матем. анализу от Н.В. Бровки на moodle ММФ были добавлены следующие фрагменты [7]:

– видео лекции разбора примеров (рис. 1). Можно интегрировать видео в курс для большей наглядности и не переходить на другие ресурсы для его просмотра;

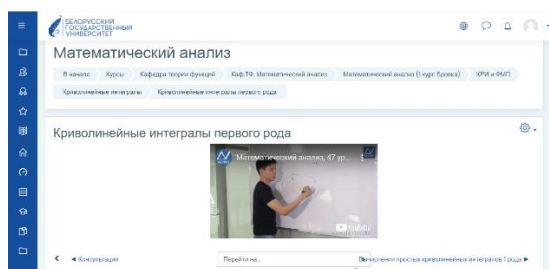


Рис. 1. Видео-лекция

– интерактивные задания, которые помогут вовлекать студентов в образовательный процесс. Соотнесите площадь заштрихованной фигуры как сумму или разность площадей криволинейной трапеций, ограниченных графиками (рис.2). Подсчёт интеграла через верхние и нижние суммы, а затем сравнит с встроенной функцией (рис.3);

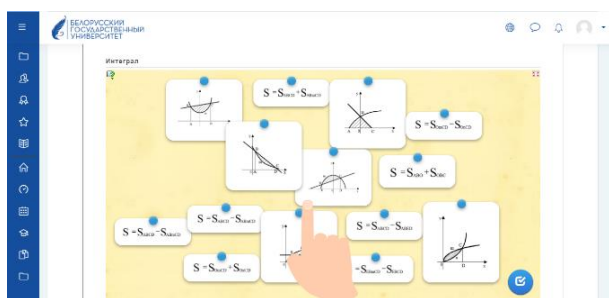


Рис. 2 Соотношение площадей

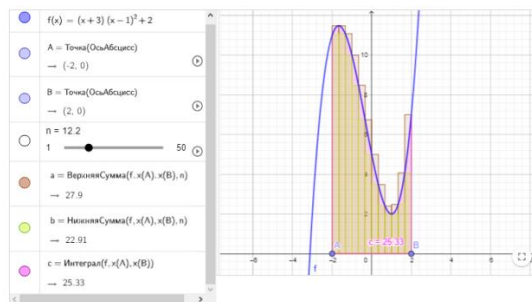


Рис.3. Подсчёт интеграла

– различные типы тестовых заданий и открытые вопросы (рис. 4);
 – онлайн консультации для лекций и дополнительного обсуждения с преподавателем учебного материала;

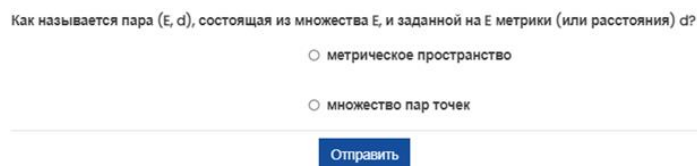


Рис.4. Тестовое задание

– обсуждение через чат или форум для пирингового обучения с некоторыми правилами (рис. 5).



Рис. 5. Создание темы форума

Выводы. Регулярно, просматривая и системно анализируя курсы по своей теме, преподаватель может находить новые технологические решения для улучшения своих электронных средств обучения. В связи с тем, что в онлайн нужно увеличивать наглядность и интерактивность заданий для удержания внимания, рекомендую обратить особое внимание на дидактические аспекты наглядности, которые достаточно легко можно реализовать. Регулярная работа над улучшением онлайн курса помогает преподавателю эффективнее преподавать знания онлайн, а студентам быть более мотивированными и вовлечёнными в образовательный онлайн процесс.

Библиографические ссылки:

1. Бровка Н.В. Интеграция теории и практики обучения математике как средство повышения качества подготовки студентов. – Минск: БГУ, 2009. – 243 с.
2. Столяр А.А. Педагогика математики. Учебное пособие для студентов физико-математических факультетов педагогических ВУЗов. – Минск: "Вышэйшая школа", 1986. – 414 с.
3. Беспалько В.П. Программированное обучение. Дидактические основы. М.: Высшая школа, 1970. – 300 с.
4. Соловей У.В. Дидактика в пиринговом обучении математики / У.В. Соловей, Н.В. Бровка // 77-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс]: материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 11–22 мая 2020 г./ Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2020. – С. 29-32
5. Stepik: online education. Математический анализ (часть 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stepik.org/course/716/info>. – Дата доступа: 12.05.2021.
6. Открытое образование. Математический анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openedu.ru/course/urfu/CALC/>. – Дата доступа: 15.05.2021.
7. Образовательный портал механико-математического факультета БГУ. Математический анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edummf.bsu.by/course/view.php?id=111>. – Дата доступа: 17.05.2021.

ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЕ «МАГАЗИННЫЙ АССИСТЕНТ»

А. Г. Тухолко, В. А. Моргунов

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
nachalasaliveagain@list.ru, a.tukholko@gmail.com;
науч. рук. – С. А. Вельченко, ст. преп.*

В век информационных технологий растёт актуальность сервисов, упрощающих рутинные процессы, встречающиеся в повседневной жизни людей. Внедрение информационных технологий в бизнес-процессы ускоряет и упрощает работу, увеличивает прибыль, повышает имидж компании в глазах клиентов. Это часто помогает расширить клиентскую базу, получить некоторое преимущество в сравнении с конкурентами. Для разрабатываемых сервисов важны также дизайн и простота использования, так как плохой дизайн может оттолкнуть потенциального пользователя, даже если за ним скрывается обширный и хорошо спроектированный функционал. Таким образом, на сегодняшний день для разрабатываемого приложения важны многие аспекты: дизайн, простота, функциональность, актуальность идеи, скорость работы и многое другое.

Ключевые слова: Анализ, Android, REST API, Карты, Базы данных, MVP.

ВВЕДЕНИЕ

Концепция магазинов самообслуживания уже не нова, хоть и начала активно распространяться по миру относительно недавно. В век развивающихся информационных технологий различные способы упрощения процесса похода по магазинам или просто покупок товаров становятся как никогда актуальными. Тем не менее, удобных и безопасных решений для ее реализации существует на удивление мало. Большинство магазинов с кассами самообслуживания, либо вовсе автономных, построенных на основе считывания действий покупателя искусственным интеллектом, не увенчались успехом по нескольким причинам. В случае с кассами самообслуживания необходимость в человеке, который контролирует, например, возраст при покупке спиртного, а также охранник, который проверит корзину на соответствие взятых товаров чеку. Полностью автоматизированные магазины (например, Amazon Go), смогли предложить слишком малый ассортимент, а также страдали от частых краж. В обоих видах магазинов также имели место быть ошибки программного обеспечения и технические проблемы, что приводило к ухудшению пользовательского опыта. Иногда проще выложить товары на ленту, постоять в очереди и предоставить всю работу кассиру.

ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ КЛЮЧЕВЫХ СИСТЕМ

Наша цель — облегчить процесс покупок для обычного пользователя уже сейчас. Часто можно столкнуться с подобными ситуациями: ценников в магазине настолько много, что они перекрывают друг друга, или ценники к каким-нибудь товарам отсутствуют, ведь их кто-то убрал, или их забыл разместить человек, следящий за торговым залом. Подобные ситуации принуждают покупателя искать консультанта или специально установленный сканер. Сканеры внутри магазина не пользуются популярностью, ведь нужно потратить время на то, чтобы найти его, дойти до него. Они также часто содержат неактуальную информацию о продукте, или не могут считать штрихкод из-за особенностей устройства. Магазины также тратят лишние деньги, чтобы создать покрытие зала такими устройствами. Часто человек не может заранее знать, найдёт ли он нужный ему товар в том магазине, в который он направляется. Также он может хотеть сэкономить деньги, желая узнать, где можно дешевле всего купить определённый нужный ему товар. Кто-то хочет вести учёт покупок и потраченных средств, не храня при этом целую кипу чеков, или не носить с собой большое количество дисконтных карт, вместо этого имея к ним доступ прямо из телефона.

Подобные ситуации, с которыми сталкивается покупатель в ежедневных походах по магазинам, побудили нас разработать свое решение в виде мобильного ассистента, который упростит поиск товара, получение информации о нем, а также сформирует чек, поможет совершить оплату, сохранит информацию о скидочных картах и покупках.

Таким образом, были поставлены следующие задачи:

- Провести анализ рынка и путей монетизации разрабатываемого сервиса;
- Изучить текущие тенденции разработки мобильных приложений;
- Изучить способы разработки клиент-сервисной архитектуры для приложений;
- Создать MVP для привлечения инвестиций.

Практическая значимость разрабатываемого приложения заключается в актуальности и простоте идеи, а также в упрощении процесса повседневного шоппинга для обычного пользователя, улучшении качества обслуживания магазинов.

В процессе анализа для нашего приложения были выделены следующие потенциальные стейкхолдеры:

1. Магазины.
2. Люди, желающие сэкономить время на процессе шоппинга.
3. Люди, желающие сэкономить деньги.

4.Люди, желающие отслеживать историю своих покупок.

Были выделены также целевые группы, на которые будет направлено приложение:

1.Люди младших и средних возрастов (от 14 до 50 лет);

2.Крупные магазины;

3.Люди, желающие сэкономить на покупках в магазинах или ускорить процесс шоппинга;

4.Люди, желающие покупать самые свежие продукты питания.

Для расширения аудитории пользователей приложения и повышения его популярности планируется использовать услуги рекламы в сервисах Google Ads и Яндекс.Реклама в следующих вариациях:

1.Текстовая реклама;

2.Реклама-баннер со слоганом.

Планируется также использовать услуги рекламы в социальных сетях, таких как Youtube, Facebook, VK и т.д.

В процессе анализа способов монетизации приложения были выбраны следующие способы:

1.Реклама в приложении, в том числе контекстная;

2.Арендная плата, взимаемая с магазина за использование приложения.

Таким образом, основными источниками затрат для нас станут расходы на рекламу, поддержку и обслуживание сервиса, разработку приложения.

Основными источниками доходов же станут реклама в приложении, покупки пользователями платной подписки и подписка на сервис непосредственно для магазинов.

В ходе изучения тенденций разработки клиент-серверных приложений платформой для разработки клиентской части приложения был выбран Android. Серверная часть написана с помощью фреймворка Express для Node.JS в сочетании с СУБД MySQL.

Чтобы реализовать необходимый функционал были использованы следующие технологии:

1.Библиотека Retrofit для осуществления HTTP-запросов к серверу и получения необходимой информации

2.Библиотека Yandex.Maps API для отображения расположения магазинов и положения пользователя относительно них

3.Библиотека Zebra Crossing для предоставления функционала сканирования горизонтальных штрихкодов на продуктах и расшифровки информации, которую они содержат.

4.Сервис FirebaseAuth, предоставляющий функционал регистрации и аутентификации для пользователя.

Для разработки дизайна приложения были использованы Интернет-ресурсы Android Developers и Material.io, были изучены также популярные на данный момент существующие приложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученное в итоге приложение работает так, как от него ожидалось. Оно имеет дизайн, соответствующий изученным нами гайдлайнам, и предоставляет пользователю базовый функционал для ознакомления с проектом. В дальнейшем планируется развивать приложение, добавляя в него новый, повышающий удобство, функционал:

1. Доработанный личный кабинет пользователя;
2. Система рейтинга для магазинов и продуктов;
3. Система бонусов для поощрения пользования приложением;
4. Геолокация для отображения места нахождения пользователя;
5. Возможность оставить комментарии под магазином или продуктом;
6. Разделение магазинов по районам или городам для уменьшения объёма информации, необходимой для пользования приложением;
7. Кэширование данных для пользования частью функционала приложения в режиме оффлайн.

В планах увеличить и оптимизировать базу данных, обеспечить безопасность подключения приложения к серверу, автоматический выбор такового из списка. Мы также планируем дальше прорабатывать бизнес-логику проекта и начать поиск инвестиций в проект, чтобы расширить команду разработчиков и иметь возможность более активно заниматься разработкой самим.

Библиографические ссылки

1. Android Developers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.android.com/>. – Дата доступа: 09.04.2021.
2. Тестирование Android приложений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/352334/>. – Дата доступа: 02.05.2021.
3. MaterialEditText Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/rengwuxian/MaterialEditText/>. – Дата доступа: 11.04.2021.
4. Picasso Library Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://square.github.io/picasso/>. – Дата доступа: 15.04.2021.
5. Retrofit Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://square.github.io/retrofit/>. – Дата доступа 24.03.2021.
6. Статья: Мой опыт с Yandex.Maps API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/480284/>. – Дата доступа 05.04.2021.
7. Жемеров Д., Исакова С. Kotlin в действии. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 407 с.
8. Гриффитс Дон, Гриффитс Дэвид. Head First. Программирование для Android. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2018. – 912 с.